

ISSN 2226-1893

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

1(47)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Збірник наукових праць

ВИПУСК 1 (47)

Заснований у червні 1997 року

Одеса – 2016

ОДЕСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ 1 (47)
2016

Заснований у червні 1997 року

Виходить 4 рази на рік

Свідоцтво Міністерства юстиції України
про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 17536-6286 Р від 11.02.2011 р.

УДК 629.12.002(082)

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових
видавн України, в яких можуть публікуватися
результати дисертаційних робіт на здобуття наукових
ступенів доктора і кандидата наук
(Постанова ВАК № 1-05/1 від 26.01.11)

Засновник і видавець:
внз «Одеський національний морський університет»
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34

Редакційна колегія:

д-р економ. наук, проф. *С.В. Руденко* – відп. редактор
канд. техн. наук, доц. *О.В. Демідюк* – заст. відп. редактора
Г.І. Силакова – відповід. секретар

д-р фіз.-мат. наук, проф.	<i>Андронов І.Л.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Івановський В.Г.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Вассерман О.А.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Іванченко О.О. (Росія)</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Гришин В.О.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Козляков В.В.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Гришин А.В.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Лапкіна І.О.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Дубровський М.П.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Махуренко Г.С.</i>
д-р техн. наук	<i>Дульнев О.І. (Росія)</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Постан М.Я.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єгоров Г.В.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Сизов В.Г.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єгунов К.В.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Яровенко В.О.</i>

Рекомендовано до друку Вченою радою
Одеського національного морського університету
(протокол № 10 від 27 січня 2016 р.)

Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей.
Висловлені у цих статтях думки можуть не збігатися з точкою зору редакційної колегії,
не покладають на неї ніяких зобов'язань.

Передруки і переклади дозволяються лише за згодою автора та редакції.

ЗМІСТ

ГІДРОДИНАМІКА, ТЕОРІЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ КОРАБЛЯ

Егоров Г.В., Шарифов З.З., Мустафаев В.О. Системный анализ модели оптимизации стационарного водолазного комплекса на глубину работ до 60 м	5
Ефремова Н.В. Применение метода сращиваемых асимптотических разложений к решению задачи о дифракции волнения конечной амплитуды на судне в мелководной акватории	18
Kanifolskyi O.O., L.M. Krysyuk The concept of small high-speed ferry	32
Челабчи В.В. Моделювання процесів хвильової гідромеханіки	42
Нікул С.О. Методика прогнозування обрису зразка озброєння	53

**БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА,
МІЦНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ СУДЕН І СПОРУД**

Андреев А.В., Бычков А.С., Кондратьев А.В. Эксплуатационная несущая способность конструкций отечественных и зарубежных воздушных судов транспортной категории из полимерных композиционных материалов. Часть 1. Общая постановка задачи	60
--	----

**ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ**

Вычужанин В.В., Шибасева Н.О. Метод структурной оптимизации характеристик системы дистанционного мониторинга и диагностики судовых сложных технических систем	69
Гудилко Р.Г. Использование водо-топливных эмульсий при эксплуатации морских судов	82

ПОРТИ ТА ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ

Слободяник А.В. Инновационная конструкция глубоководного причального сооружения	94
Стрельцов П.М. Методи чисельного рішення екстремальних задач управління легкими мостовими кранами з гнучким підвісом вантажу	101

ЗМІСТ

Синица Р.В., Анисимов К.И. Исследование вопросов влияния уровня воды в нижнем бьефе на пропускную способность щитовых затворов на водопропускных гидротехнических сооружениях	116
Панова И.Н. Исследования волновой нагрузки на верхнее строение гидротехнических сооружений сквозного типа	130

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Петров И.М. Формирование модели активизации развития профессиональной направленности морского агента в сервисных эргатических системах	136
--	-----

УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ ТА ПРОГРАМАМИ

Пітерська В.М. Проектний підхід до моделювання управління інноваційною організацією	146
Titov S.D., Chernova L.S. A problem of immersing the maximum radius circle in the polyhedron	159
Поддубная Н.Н. Экономико-математическая модель обоснования месторасположения логистических распределительных центров при контейнерных перевозках	165
Поддубная Н.Н. Использование усложненных постановок транспортной задачи для обоснования логистических систем	171
Пизинцали Л.В. Обеспечение безопасной утилизации судов на основе резолюций ИМО при разработке проекта утилизационного предприятия	179
АВТОРИ	189
ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ	192

УДК 626.02:622.242.4

Г.В. Егоров, З.З. Шарифов, В.О. Мустафаев

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ СТАЦИОНАРНОГО
ВОДОЛАЗНОГО КОМПЛЕКСА НА ГЛУБИНУ РАБОТ ДО 60 М**

Работа посвящена, формулировке целей и задач оптимизации параметров водолазного комплекса, предполагаемого к установке на специализированном водолажном судне. Перспективное судно, на которое предусматривается установка водолазного комплекса, предполагается эксплуатировать на всех этапах строительства и эксплуатации объектов морского нефтепромысла, выполняя основные виды водолазных работ на глубине до 60 м.

Ключевые слова: водолазное судно, водолазный комплекс, подводно-технические работы, проектирование, оптимизация

Робота присвячена формулюванню цілей і завдань оптимізації параметрів водолазного комплексу, передбачуваного до установки на спеціалізованому водолажному судні. Перспективне судно, на яке припускається установка водолазного комплексу, передбачається експлуатувати на всіх етапах будівництва й експлуатації об'єктів морського нафтопромыслу, виконуючи основні види водолазних робіт на глибині до 60 м.

Ключові слова: водолазне судно, водолазний комплекс, підводно-технічні роботи, проектування, оптимізація

Work is devoted to the formulation of the purposes and tasks of optimization of parameters of the diving complex supposed to be installed on specialized diving vessel. Installation of diving complex is provided on perspective vessel which is supposed to be operated at all stages of construction and operation of sea oil field objects carrying out main types of diving works at depth up to 60 m.

Keywords: Key words: diving vessel, diving complex, underwater and technical works, design, optimization

Постановка проблемы. Строительство и эксплуатация объектов морского нефтепромысла невозможны без проведения подводно-технических работ. В свою очередь организация таких требует наличия самоходной платформы – судна, на которое предусматривается установка водолазного комплекса, позволяющего основные виды водолазных работ.

Основные рабочие глубины, которые представляют интерес на нефтепромыслах Азербайджана – это глубины до 60 м.

© Егоров Г.В., Шарифов З.З., Мустафаев В.О. 2016

С учетом применяемой организации и технологии подводно-технических работ формируются требования к параметрам стационарного водолазного комплекса, что в свою очередь определяет и параметры будущего судна, на котором он будет базироваться. Однако существующие публикации, в основном, посвящены проектированию судов для обеспечения аварийно-спасательной готовности [5; 6; 7].

Целью статьи является формирование целей и задач исследования системного анализа и оптимизации параметров стационарного водолазного комплекса для выполнения основных водолазных работ на глубине до 60 м.

Изложение основного материала. Ранее исследовались вопросы, возникающие при проектировании таких судов, в том числе проблемы и подходы к формированию водолазного комплекса.

Например, в [16; 17] были рассмотрены классическое вентилируемое водолазное снаряжение, оборудование и инструменты для спусков под воду и для работы под водой, дано описание судов для работы на глубинах до 60 м – водолазных рейдовых и морских ботов, с описанием их зоны эксплуатации и применявшегося оборудования. Было показано, что морские водолазные суда обеспечивали работу двух водолазных станций (6-7 человек) с рекомпрессионной камерой.

В [12] были изложены основы проведения подводно-технических работ при строительстве, в том числе гиротехнических сооружений, к которым относятся и стационарные буровые установки, прокладке и ремонту подводных трубопроводов, подводной сварке и резке металлов.

В публикациях Р.Н. Караева [10; 11] предложена классификация подводно-технических работ по видам операций, рассмотрены факторы, определяющие эффективность действий водолаза под водой при выполнении подводно-технических работ на морских нефтегазопромислах. Перечислена номенклатура работ, проводимых при обследовании морского дна, а также особенности подводных обследований морских нефтегазовых сооружений различных типов.

В [2] представлена подводная техника для работы на морских нефтепромыслах, в том числе для наблюдения за установленным устьевым оборудованием, для ремонта, монтажа трубопроводов, даны описания водолазных комплексов, включая декомпрессионные камеры, посты управления водолазных операций, системы снабжения водолазных комплексов энергией, газами, системы связи, водолазные беседки, водолазные колокола, дыхательные аппараты, средства механизации работ. Показано, что особенностью водолазных судов является наличие на них стационарного водолазного комплекса, кранов, а также устройств удержания судна в точке работ.

В [9] были подробно рассмотрены основы водолазного дела, оборудование и снаряжение, специфика водолазных погружений на нефтепромыслах, а также особенности подводных работ на плавучих буровых установках, трубокладочных баржах и других сооружениях.

Большое количество публикаций посвящено современным решениям для работы под водой при эксплуатации на всех этапах строительства и эксплуатации объектов морского нефтепромысла. Например, в [1] представлены машины и механизмы для подводных работ, включая водолазный инструмент. В [15] дано описание оборудования и инструментов, применяемых при подводной сварке и резке. В [14] обоснованы современные методы подводной сварки и резки. В [19] даны основы выбора рабочего инструмента для водолазов и подводных аппаратов, приведены описания ручных и механизированные подводных инструментов, стандартных изделий, применяемы в подводных технологиях США. В [18] описаны современные системы подводной связи. В [4] был представлен анализ современных транспортировочных водолазных камер. В публикации [8] были представлены звуковизоры – компактные гидроакустические системы с высокой разрешающей способностью, миниатюрные многолучевые гидролокаторы, работающие на высокой частоте от 450 кГц до 2,25 МГц, обеспечивающие в режиме реального времени изображение на дальности до 30 м подводного пространства с качеством, близким к изображению видеокамеры, со скоростью сканирования до 30 кадров/с. В [13] представлены микро и мини ТНПА. Современные микроаппары при массе до 5 кг, могут работать на глубинах до 150 м, оснащаются видеокамерами низкой освещенности, лазерными указателями, одно/ двухступенными манипулятором типа схват, устройствами неразрушающего контроля и др. В свою очередь ТНПА класса «мини» уже имеют массу до 30 кг, но могут решать широчайший спектр подводно-технических задач. Использование ТНПА в качестве дополнительного средства контроля подводной обстановки во время водолазных спусков позволяет значительно повысить эффективность и безопасность работ.

Однако публикаций, посвященных выбору оптимальных параметров новых водолазных судов с современными водолазными комплексами для работы на нефтепромыслах, нет.

Поэтому в этой статье формулируются основные направления решения научно-прикладной задачи, связанной с оптимизацией объекта исследования.

С учетом того что задача оптимизации параметров водолазного комплекса является многокритериальной и многоуровневой, предусматривается произвести систематизацию параметров исследования и сформировать основные направления оптимизации параметров водолазного комплекса с учетом условий риска при эксплуатации водолазного комплекса. Предполагается решение задачи систематизации объекта исследования произвести в три этапа. На первом этапе предусматривается систематизировать критерии оптимизации водолазного комплекса. На втором этапе, систематизировать критерии оптимизации состава водолазного снаряжения. На заключительном этапе предусматривается формирование основной задачи исследования путем формирования обобщенного системного анализа и отбор наиболее важных критериев оптимизации.

При решении задачи, предполагается сформулировать основную задачу исследования и формировать основные направления исследования.

Для решения задачи предполагается предварительно сформировать основной круг работ выполняемых стационарным водолазным комплексом.

Предполагается формирование структурной схемы отражающей взаимосвязь элементов водолазного комплекса, состава водолазных снаряжений, критерий риска и формирование критерии оптимизации водолазного комплекса.

Состав предполагаемых работ выполняющих перспективным судном. Например, новые морские водолазные суда проекта SDS08 предназначены для:

- обеспечения водолазных и подводно-технических работ на глубинах до 100 метров при волнении моря до 3-х баллов;
- участие в проведении спасательных, судоподъемных и гидротехнических работ в объеме установленных на судне средств;
- обследования дна акваторий, затонувших объектов, подводной части корпусов судов (кораблей) и гидротехнических сооружений;
- обеспечения эксплуатации малогабаритных телесуправляемых подводных аппаратов при волнении моря до 4 баллов;
- обследования дна акваторий, подводных частей корпусов и винто-рулевых устройств кораблей (судов), подводной части гидротехнических сооружений и выполнение подводных работ с помощью водолазов;
- выполнения подводной сварки на глубинах до 25 метров и резки на глубинах до 100 метров;
- подъема с глубин до 100 метров обнаруженных предметов массой до 2,0 т;
- грунторазмыва и удаления грунта;
- откачки воды с аварийного судна;
- продувки понтонов;
- работы с гидравлическим инструментом.

Основные характеристики морских водолазных судов проекта SDS08 указаны в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики морских водолазных судов проекта SDS08

Параметр	Величина
Длина максимальная, м	38,35
Длина, м	36,35
Ширина максимальная, м	7,90
Ширина, м	7,70
Высота борта, м	3,20
L x B x H	38,35 x 7,90 x 3,20 = 970
Осадка по ЛГВЛ, м	2,35

Продолжение табл. 1

Дедвейт в море при осадке 2,35 м, т	45
Автономность, сут.	5
Дальность плавания экономходом, мили	500
Класс Российского Морского Регистра Судоходства	КМ ⚓ Ice2 R2 AUT3-C OMBO SDS>60
Мощность ГД, кВт	2 x 442
Винто-рулевое устройство	2 ВРШ + 2 руля
Грузовой кран, грузоподъемность, т / вылет, м	2,3 / 11,5
Подруливающее устройство (ПУ), кВт	125
Вспомогательные ДГ, кВт	2 x 136
Экипаж / мест, чел.	12 / 15
Скорость, узл. (при осадке 2,35 м и 100 % МДМ)	11,0
Скорость экономхода, узл. (при осадке 2,35 м)	8,0
Водолазное оборудование	барокамера на 4 водолазов; водолазный полуколокол с СПУ; водолазное снаряжение со шлемом SUPERLITE и вентилируемым шлемом DESCO; водолазное снаряжение универсальное «сухого» типа; средства водообогрева водолазов; средства связи; средства подводного освещения; подводное телевидение; подводная сварка/резка; гидравлический инструмент; понтонь; средства водоотлива; средства грунторазмыва; телеуправляемый подводный аппарат; водолазный трап

Перспективное судно, на которое предполагается установка водолазного комплекса, предполагается эксплуатировать на работах связанных как со строительством, так и эксплуатацией объектов морского нефтепромысла [2; 9; 10; 11]. Поэтому будут выполняться работы по подвод-

ной резке и сварке, подводные взрывные работы, монтаж и укладка подводных трубопроводов, ремонт подводных трубопроводов, установка стационарных морских платформ на грунт, монтаж протекторов электрохимической защиты на объектах морского нефтепромысла, монтаж устьевого оборудования и т.д. Все выше перечисленные функции предусматриваются выполнять на глубинах до 60 м.

Системный анализ и критерии оптимизации оборудования водолазного комплекса. Для выполнения работ предусмотренного перспективным судном, в составе водолазного комплекса, предполагается установка многосекционной декомпрессионной камеры, водолазного колокола, спускоподъемное устройство [3; 4] и энергетическую установку водолазного комплекса. Характеристики каждого из перечисленных оборудований напрямую зависят от количества одновременно работающих под водой водолазов и характера выполняемых работ. Взаимосвязь оборудований водолазного комплекса отражена на структурной схеме, (см. рисунок 1).

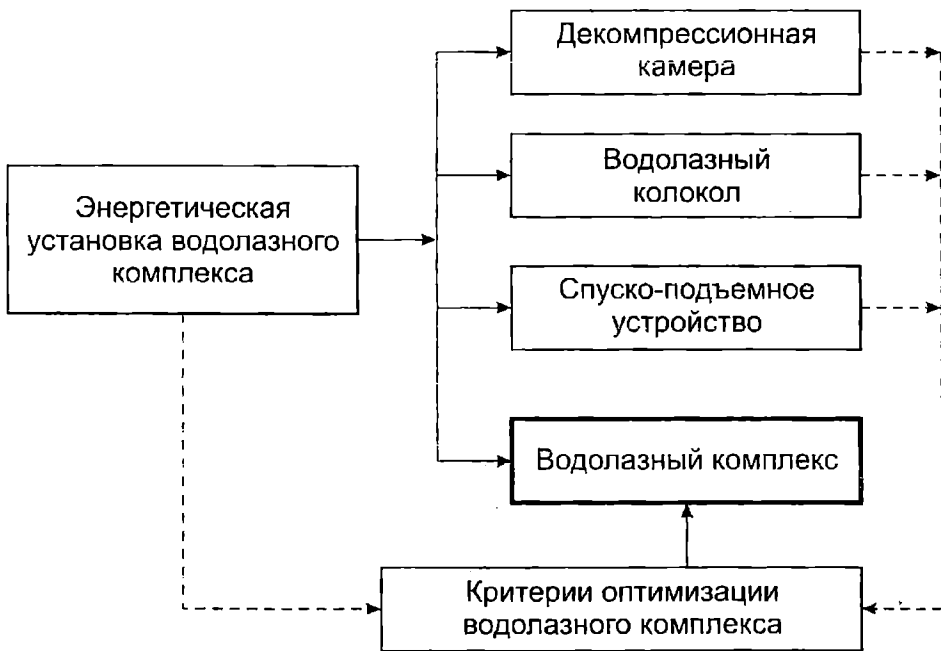


Рис. 1. Структурная схема модели оптимизации водолазного комплекса

В качестве критерия оптимизации водолазного комплекса предусматриваются, количество одновременно работающих под водой водолазов, число секций декомпрессионной камеры, тип водолазного колокола, тип спускоподъемного устройства и состав энергетической установки водолазного комплекса.

Системный анализ и критерии оптимизации водолазного снаряжения. На борту перспективного судна предусматривается наличие снаряжения необходимого для выполнения водолазных работ. В составе водолазного комплекса предусмотрены вентилируемое снаряжение, водолазные маски и шлемы, подводное телевидение, гидрокостюмы, телефонная связь, грузовой ремень, водолазный шланг, автономное снаряжение, водолазные инструменты и т.д. Для обеспечения безопасности и обеспечения надежности водолазных работ с учетом условий риска, предусматривается проведение оптимизации состава водолазного снаряжения. Характерный состав и критерии оптимизации водолазных снаряжений отражены на структурной схеме на рисунке 2.

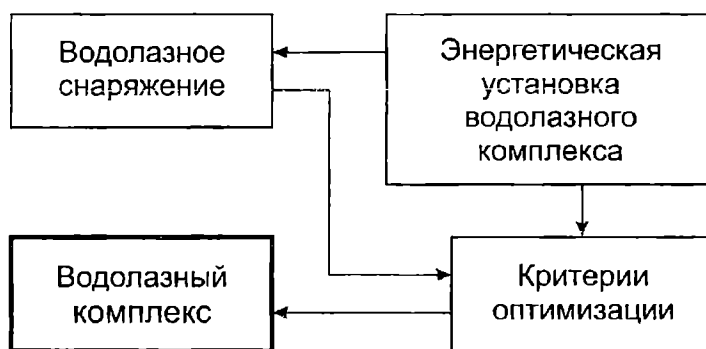


Рис. 2. Структурная схема модели оптимизации водолазного снаряжения

Рассматривая перечисленный выше состав водолазного снаряжения, предполагается для решения задачи оптимизации принимать в качестве критерия оптимизации количество одновременно работающих под водой водолазов. Состав водолазного снаряжения напрямую зависит от количества одновременно работающих под водой водолазов и характера выполняемых работ.

Например, для выполнения заданных функций на судне проекта SDS08 установлено современное оборудование для выполнения водолажных и вспомогательных спасательных работ.

Двухотсечная поточно-декомпрессионная барокамера (см. рисунок 3) внутренним диаметром 1600 мм позволяет проводить одновременную декомпрессию двух смен водолазов под разными давлениями.

Вместимость каждого отсека барокамеры – 2 лежачих или 4 сидячих места. Рабочее давление – 10 кг/см^2 .

Для снабжения барокамеры кислородом и гелием, а также для проведения водолажных спусков в водолажном колоколе с применением для дыхания 10 % КАГС в состав комплекса входят моноблоки для хранения сжатого гелия и кислорода.

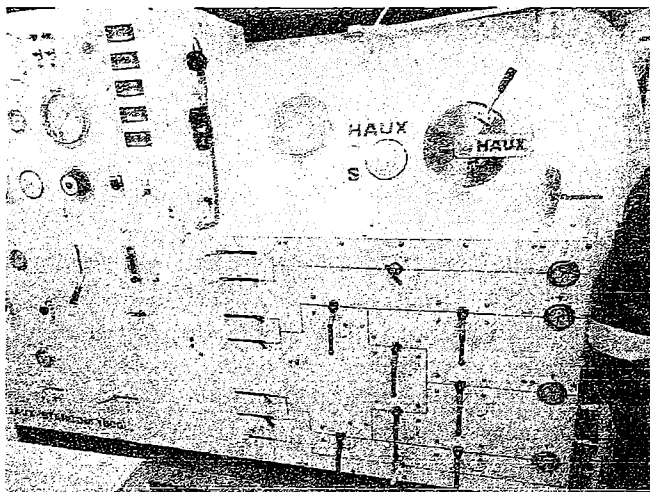


Рис. 3. Водолазная барокамера

Моноблоки состоят из 6 баллонов объемом 50 л и рабочим давлением 200 кг/см². Количество моноблоков для хранения гелия – 6 шт. (два для обеспечения барокамеры и четыре для проведения спусков), для хранения кислорода – 2 шт. (один для обеспечения барокамеры и один для проведения спусков). Моноблоки баллонов установлены на палубе судна. Моноблоки, предназначенные для проведения водолазных спусков, могут храниться как на судне, так и на берегу и устанавливаться на судно только при необходимости проведения работ на глубинах от 60 до 100 м.

Для зарядки воздушных баллонов, используемых для работы барокамеры и проведения водолазных спусков, применяются компрессоры фирмы BAUER. На судне установлены компрессоры специального морского исполнения, которые отличаются усиленной вибро- и ударозащищенностью, стойкостью к коррозии в морских условиях и способностью работать в условиях качки до 30 °.

В водолажном посту установлен интегрированный пульт управления (см. рисунки 4 и 5).

Пульт управления выполняет функции:

- управление спуском/подъемом водолазного полуколокола;
- подача воздуха и кислорода к водолажному полуколоколу;
- подача газов к барокамере;
- связь с водолазами, находящимися под водой и в барокамере;
- видеонаблюдение и контроль за работой водолазов под водой и находящихся в барокамере;
- видеонаблюдение и контроль за проведением спуска водолажного полуколокола.

Компоновка пульта обеспечивает возможность управления всеми технологическими процессами с одного рабочего места.

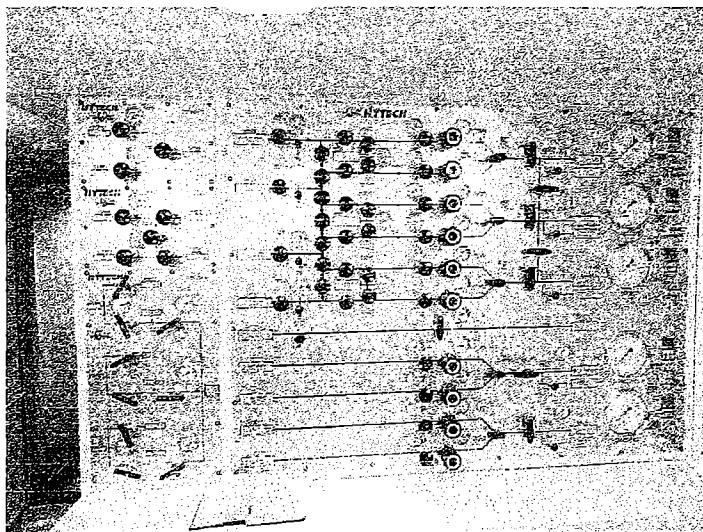


Рис. 4. Интегрированный пульт управления

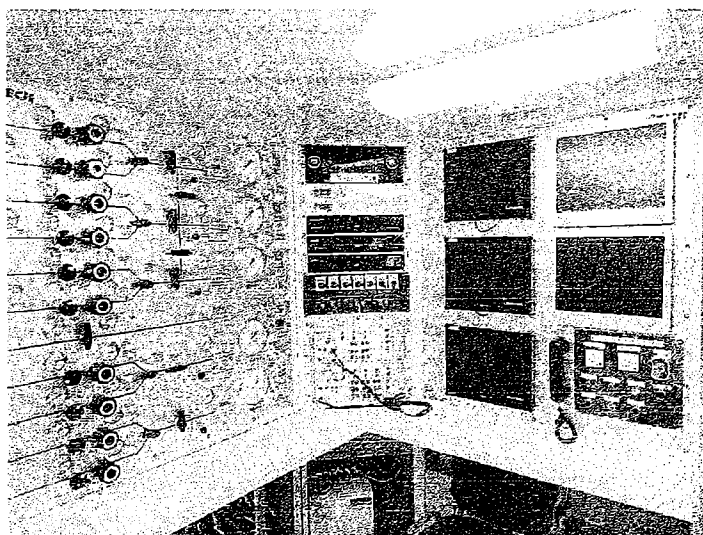


Рис. 5. Интегрированный пульт управления

Спуск водолазов может осуществляться как по водолазному трапу, так и с использованием водолазного полуколокола («мокрого» колокола).

Установленный на судне полуколокол рассчитан на спуск на глубины до 100 метров трех человек – двух работающих водолазов и одного оператора полуколокола. При помощи полуколокола обеспечивается выполнение водолазных спусков на глубины до 60 м на воздухе и до 100 м на дыхательных газовых смесях. Полуколокол оснащен системой газораспределения и подачи газов, системами внешнего и внутреннего освеще-

щения и видеонаблюдения, системой кислородных дыхательных ВВБ-масок, системой связи с гелиевым корректором речи.

Спуск-подъемное устройство полуколокола обеспечивает вынос его за борт судна, спуск/подъем полуколокола с заданной скоростью, автоматическую подачу КШС полуколокола. Общий вид СПУ и полуколокола приведен на рисунке 6.

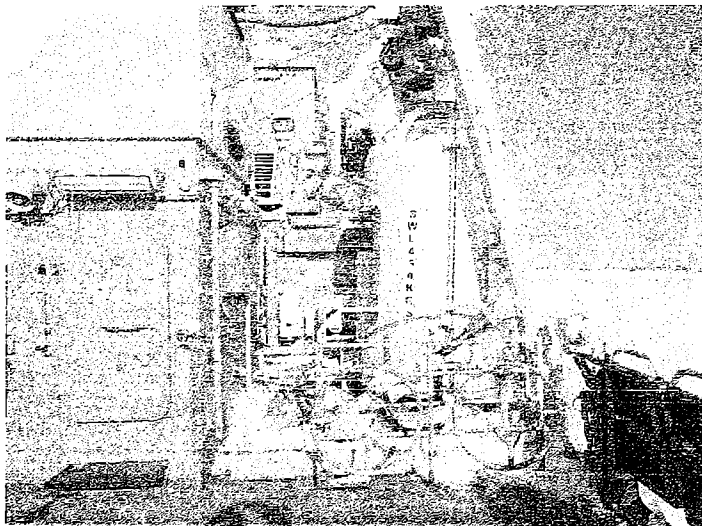


Рис. 6. СПУ полуколокола

Для нагрева и подачи забортной горячей воды по КШС в водообогреваемое водолазное снаряжение предусмотрена установка водообогрева водолазов. Количество водолазов, подключаемых к установке – 3. Расход воды – 15-41 л/мин. Температура воды – 30-60 °С.

Предусмотрено поставка на судно средств выполнения ПТР в составе:

- снаряжение рабочего водолаза;
- снаряжение оператора полуколокола;
- подводное освещение;
- подводное телевидение;
- комплект водообогреваемого снаряжения;
- комплект для подводной сварки и резки;
- грунтоуборочное оборудование.

Системный анализ и обобщенные критерии оптимизации водолазного комплекса. Путем синтеза структурных схем модели оптимизации водолазного комплекса и водолазного снаряжения, формируем структурную схему модели оптимизации водолазного комплекса (см. рисунок 7). При этом в структурной схеме, на рисунке 7, предусмотрены критерии риска при эксплуатации водолазного комплекса, учитывающиеся на стадии разработки модели оптимизации.



Рис. 7. Структурная схема модели оптимизации водолазного комплекса

На структурной схеме на рисунке 7, рассматривается взаимодействие элементов водолазного комплекса, состава водолазного снаряжения и энергетической установки водолазного комплекса и формируются критерии оптимизации водолазного комплекса перспективного судна. Критерии оптимизации, участвующие в модели оптимизации водолазного комплекса, отражены в качестве отдельного элемента. При этом элемент критерия оптимизации в составе структурной схемы взаимодействует с элементами структурной схемы модели оптимизации посредством критериев рисков, отраженных отдельным элементом.

Выводы. В рамках рассмотренной задачи, была осуществлена систематизация элементов стационарного водолазного комплекса, предполагаемого к установке на перспективном водолазном судне для выполнения водолазных работ на глубине до 60 м и сформулирован критерий оптимизации водолазного комплекса, являющейся главной целью исследования.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баладинский В.Л., Лобанов В.А., Галанов Б.А. *Машины и механизмы для подводных работ.* – Л.: Судостроение, 1979. – 192 с.
2. Боровиков П.А., Самарский В.Н. *Подводная техника морских нефтепромыслов.* – Л.: Судостроение, 1980. – 176 с.
3. Бугаенко Б.А., Магула В.Э. *Специальные судовые устройства.* – Л.: Судостроение, 1983. – 392 с.
4. Галь А.Ф., Дубина М.А. *Анализ современных транспортно-вочных водолазных камер как объектов судоподъема* // 36. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2008. – № 2. – С. 32-37.
5. Гурович А.Н., Родионов А.В. *Проектирование спасательных и пожарных судов.* – Л.: Судостроение, 1971. – 284 с.
6. Егоров Г.В. *Обоснование «линейки» многофункциональных аварийно-спасательных судов для работы в прибрежных морях России* // *Морские инновационные технологии: Труды Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского.* – 2015. – Вып. № 3(29). – Т. 1. – С. 28-44.
7. Егоров Г.В., Тонюк В.И. *Морские водолазные суда типа «Стольный град Ярославль»* // *Судостроение.* – 2012. – № 3. – С. 17-23.
8. *Звуковизор «Тритон-900»* // *Нептун.* – 2015. – №5. – С. 96-98.
9. Зинковский Н.Б. *Подводные работы на нефтепромыслах.* – Л.: Судостроение, 1984. – 232 с.
10. Караев Р.Н., Разуваев В.Н. *Классификация и организационные основы подводнотехнических работ на морских нефтегазопромыслах* // *Морской вестник.* – 2012. – Спецвып. 1(9). – С. 82-84.
11. Караев Р.Н., Разуваев В.Н. *Подводные обследования, проводимые на акватории морских нефтегазопромыслов* // *Морской вестник.* – 2012. – Спецвып. 1(9). – С. 84-86.
12. Кицак Н.А., Забела К.А. *Подводно-технические работы в строительстве.* – К.: Будівельник, 1970. – 164 с.
13. Клячко Л.М., Рогожников А.В., Сухомесова В.В. *Миниатюрные помощники ТНПА классов «микро» и «мини»* // *Нептун.* – 2014. – № 4. – С. 94-98.
14. Кононенко В.Я. *Подводная сварка и резка в странах СНГ* // *Автоматическая сварка: Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины.* – 2014. – № 6-7. – С. 43-48.
15. Мадатов Н.М. *Подводная сварка и резка металлов.* – Л.: Судостроение, 1966. – 164 с.

16. *Меренов И.В. Водолазные работы. – М.: Транспорт, 1971. – 184 с.*
17. *Меренов И.В., Смолин В.В. Справочник водолаза. Вопросы и ответы. – Л.: Судостроение, 1990. – 400 с.*
18. *Поляков С. Системы подводной связи Ocean Reef // Нептун. – 2015. – № 5. – С. 102-107.*
19. *Хэкмен Д., Коди Д. Подводный инструмент. – Л.: Судостроение, 1985. – 128 с.*

Стаття надійшла до редакції 15.01.2016

Рецензент – доктор технічних наук, професор, головний науковий співпрацівник, науковий консультант Морського інженерного бюро **В.В. Козляков**

УДК 629.12:532.059.041

Н.В. Ефремова

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СРАЩИВАЕМЫХ АСИМПТОТИЧЕСКИХ
РАЗЛОЖЕНИЙ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ О ДИФРАКЦИИ ВОЛНЕНИЯ
КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ НА СУДНЕ В МЕЛКОВОДНОЙ АКВАТОРИИ**

Надано рішення задачі про дифракцію хвилювання кінцевої амплітуди, яке набігає під довільним кутом на нерухоме судно в умовах мілководдя. Рішення виконано методом зрощуваних асимптотичних розкладань.

Ключові слова: *мілководдя, нелінійна теорія хвилювання, профіль хвилі, дифракційний потенціал, метод зрощуваних асимптотичних розкладань.*

Представлено решение задачи о дифракции волнения конечной амплитуды, набегающего под произвольным углом на неподвижное судно в условиях мелководья. Решение выполнено методом сращиваемых асимптотических разложений.

Ключевые слова: *мелководье, нелинейная теория волн, профиль волны, дифракционный потенциал, метод сращиваемых асимптотических разложений.*

Solving of a diffraction problem for finite amplitude waves running at arbitrary angle onto unmoving vessel in shallow water is introduced. Problem is solved by the matched asymptotic expansion method

Keywords: *shallow water, non-linear wave theory, wave profile, diffraction potential, matched asymptotic expansion method.*

Введение. В большинстве портов Черного моря крупнотоннажные танкеры и балкеры частично разгружаются и догружаются на рейдовой стоянке вне защищенной акватории порта. Волновое поле вокруг судна, находящегося на относительно мелководной рейдовой стоянке, существенно трехмерное и представляет собой суперпозицию набегающего и дифрагированного волнения.

Волнение, приходящее из глубоководных районов открытого моря, сложным образом трансформируется на мелководье – заостряются вершины волн и становятся более пологими их подошвы. Крупные волны уменьшаются, мелкие увеличиваются по длине и высоте.

Сложность оценки взаимодействия судна с таким волнением связана с нестационарностью области, занятой жидкостью и нелинейностью граничного условия на свободной поверхности жидкости. Решение такой задачи в общем виде крайне затруднительно. Решение отдельных задач требует уточнения и специализации граничных условий.

В частности, дифракционная задача рассматривается редко, поскольку для определения гидродинамических сил, действующих на судно при качке, достаточно иметь решение задачи излучения. В существующих решениях дифракционной задачи применяется линейная теория волн [1; 2; 3] и др.

Цель работы – определение потенциала скоростей возмущенного движения жидкости, вызванного дифракцией волнения конечной амплитуды, набегающего под произвольным углом на неподвижное судно в условиях мелководья.

Изложение основного материала исследования. Существующие в настоящее время исследования волнения конечной амплитуды на мелководье посвящены либо определению характеристик волн (волнового профиля, давления, составляющих скорости и ускорений частиц в волне) [4-6] и др., либо оценке воздействия волн на стационарные или подвижные шельфовые сооружения [7] и др.

Взаимодействие судов с волнами конечной амплитуды изучается в основном на глубокой воде. Так, нелинейные модели ветровых волн в шторме и нелинейные гидромеханические нагрузки на корпус судна рассмотрены в [8]. Задача о взаимодействии судна с умеренно нелинейными и нерегулярными волнами решена с применением теории возмущений. Искомый потенциал скоростей возмущенного движения жидкости разложен в ряд по степеням малого параметра, в разложении оставлено заданное число первых членов ряда. После подстановок и преобразований изначально нелинейная краевая задача приведена к серии линейных краевых задач для составляющих потенциалов.

В [9] приведена оценка поведения судна на сильном и экстремальном волнении с учетом переменности смоченной поверхности и взаимном влиянии колебаний. При использовании модели удлиненного судна и ограничении скорости ($Fr < 0.3$) суммарный потенциал представлен суммой потенциала свободных набегающих волн конечной амплитуды и потенциала линейного возмущенного движения жидкости, вызванного присутствием в ней судна. Линеаризация граничной задачи и разделение гидромеханических сил позволили определять дифракционные силы на мгновенной смоченной поверхности с использованием решения задачи излучения.

В работе Ю.Л. Воробьева [10] поставлена общая гидродинамическая задача о потенциале возмущенных скоростей жидкости при движении судна на волнении в стесненном фарватере, проведена ее поэтапная линеаризация и описан метод решения соответствующих линейных задач.

Эффективные прямые методы решения задачи о взаимодействии судов с волнением конечной амплитуды на мелководье не описаны. Приближенные решения так или иначе связаны с линеаризацией граничных условий, специализацией формы корпуса судна. Следовательно, тема работы актуальна.

В большинстве задач, связанных с определением характеристик волнения, заданными считаются глубина акватории и период волны. Последнее можно объяснить, в частности, тем, что при переходе с глубокой воды на мелководье периоды почти не изменяются. Длина, высота и другие характеристики волны определяются в зависимости от выбранной теории волн – малой или конечной амплитуды.

В задачах динамики судна на волнении определяющими характеристиками является длина и высота волны при данной глубине акватории, а период и другие характеристики подлежат определению в зависимости от выбранной теории волн. Таким образом, для решения дифракционной задачи важно удобным образом задать уравнение профиля волны конечной амплитуды.

Традиционно в теории волновых движений жидкости учет влияния мелководья выполняется при глубине акватории, меньшей половины длины волны. Понятие «мелководная акватория» применительно к судну связано с расстоянием между днищем судна и дном водоема. В [11] показано, что даже в условиях умеренного (по отношению к судну) мелководья длина волны, сопоставимой с длиной судна, в пять и более раз превышает глубину акватории. Если предположить, что на данной глубине набегающее на судно волнение не разрушается, то получится вполне определенный диапазон длин и высот волн [11], для которого профиль набегающей волны достаточно точно определяется по теории Стокса 5 порядка (пример – рис. 1) и применительно к которому целесообразно решать, в частности, дифракционную задачу.

Рассмотрим взаимодействие неподвижного судна, плавающего на мелководье глубины H с набегающим под произвольным углом волнением конечной амплитуды, не доходящим до стадии обрушения. Обозначим длину волны λ , высоту волны h , скорость распространения волны c .

Введем в рассмотрение две прямоугольные системы координат: неподвижную $O\xi_0\eta_0\zeta_0$, характеризующую движение жидкости и связанную с судном $Oxyz$ (рис. 2). Ось $O\xi_0$ сонаправлена с вектором скорости набегающего волнения. Курсовой угол набегающего волнения β (между осями Ox и $O\xi_0$) изменяется от 0 до 360° , положительное направление – против часовой стрелки от $O\xi_0$ к Ox .

Уравнение профиля волны согласно [6] задается в виде

$$\zeta = \sum_{j=1}^5 \zeta_{(j)} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^5 a^j b_j \cos(j\theta), \quad (1)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число (частота формы);

a – параметр высоты волны, определяется из соотношения

$$kh = 2 \left[a + a^3 B_{33} + a^5 (B_{35} + B_{55}) \right]; \quad (2)$$

b_j – безразмерные коэффициенты, зависящие от глубины акватории и длины волны;

B_{33} , B_{35} , B_{55} – параметры профиля волны, определяются по [6] (таблица 1);

$$\theta = k(\xi_0 - ct) = k\xi_0 - \sigma t.$$

Таблица 1

Параметры профиля волны, $S = Sh(kH)$, $C = Ch(kH)$

$B_{33} = [3(8C^6 + 1)]/[64S^6]$
$B_{35} = [88128C^{14} - 208224C^{12} + 70848C^{10} + 54000C^8 - 21816C^6 + 6264C^4 - 54C^2 - 81]/[12288S^{12}(6C^2 - 1)]$
$B_{55} = [192000C^{16} - 262720C^{14} + 83680C^{12} + 20160C^{10} - 7280C^8 + 7160C^6 - 1800C^4 - 1050C^2 + 225]/[12288S^{10}(6C^2 - 1)(8C^4 - 11C^2 + 3)]$

Составляющие $\bar{\zeta}_{(j)} = 2\zeta_{(j)}/h$ профиля волны Стокса показаны на рис. 1. Крутизна всех составляющих меньше заданной крутизны волны конечной амплитуды.

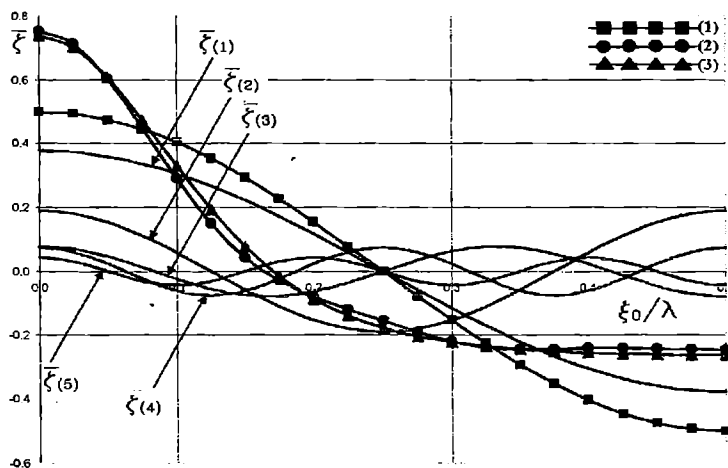


Рис. 1. Относительные ординаты $\bar{\zeta} = 2\zeta/h$ профиля волны, определенные по линейной теории (1), по теории Стокса (2), по кноидальной теории (3); $\bar{\zeta}_{(j)}$ ($j=1, \dots, 5$) – составляющие профиля

волны Стокса; глубина акватории $H = 17.6$ м;
длина волны $\lambda = 201.6$ м, крутизна $h/\lambda = 1/20$

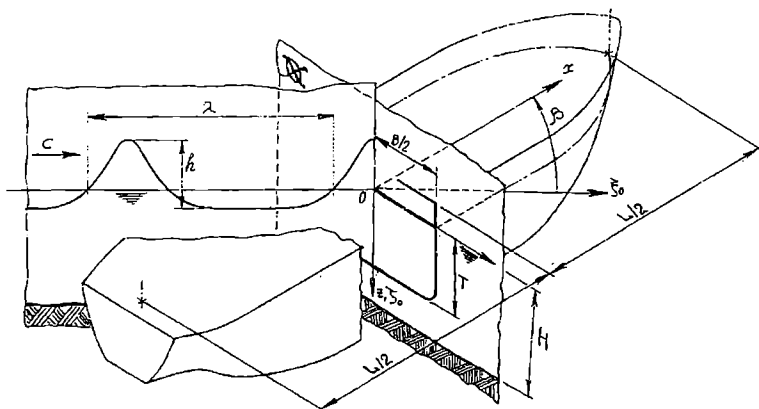


Рис. 2. Системы координат и характеристики волнения

Жидкость считаем идеальной, тяжелой, несжимаемой, ее движение потенциальным. В системе координат, связанной с судном, где $\xi_0 = x \cos \beta + y \sin \beta$, $\zeta_0 = z$, возмущенное движение жидкости описывается потенциалом скоростей $\Phi^E(x, y, z, t)$. Область его определения E ограничена дном водоема D , смоченной поверхностью судна S и свободной поверхностью жидкости Σ . Представим потенциал Φ^E в виде суммы

$$\Phi^E(x, y, z, t) = \Phi^*(x, y, z, t) + \Phi^d(x, y, z, t), \quad (3)$$

где $\Phi^*(x, y, z, t)$ – потенциал скоростей набегающего волнения;

$\Phi^d(x, y, z, t)$ – потенциал скоростей дифрагированного волнового движения.

Потенциал скоростей набегающего волнения в соответствии с выбранным представлением волнового профиля запишем в системе координат, связанной с судном, в виде [6]

$$\begin{aligned} \Phi^*(x, y, z, t) &= \sum_{j=1}^5 \Phi^{*(j)} = \\ &= \frac{\sigma}{k^2} \sum_{j=1}^5 a^j A_j \operatorname{Ch}(jk(z-H)) \operatorname{Sin}[j(kx \cos \beta + ky \sin \beta - \sigma t)], \end{aligned} \quad (4)$$

где A_j – параметры потенциала волны (безразмерные функции, зависящие от kH).

Связь между волновым числом и частотой волнения $\sigma = kc$ определяется выражением

$$\sigma^2 = kg \cdot \operatorname{Th}(kH) \cdot (1 + a^2 C_1 + a^4 C_2) = kg \cdot \operatorname{Th}(kH) \cdot C^*, \quad (5)$$

где C_1, C_2 – параметры частоты волны, определяются по [6] (таблица 2).

Таблиця 2

Параметри частоти волни, $S = Sh(kH)$, $C = Ch(kH)$

$C_1 = [8C^4 - 8C^2 + 9]/[8S^4]$
$C_2 = [3840C^{12} - 4096C^{10} - 2592C^8 - 1008C^6 + 5944C^4 - 1830C^2 + 147]/[512S^{10}(6C^2 - 1)]$

Учитывая характер составляющих волнения в (1), а также представления потенциалов в виде (3) и (4), предположим, что дифракция всех $\zeta_{(j)}$ на корпусе судна происходит взаимно независимо.

Потенциал первого порядка определяется выражением

$$\Phi^{*(1)} = \frac{\sigma}{k^2} a \frac{A_1^*}{Sh(kH)} Ch(k(z-H)) \cdot Sin[(kx \cos \beta + ky \sin \beta - \sigma t)] \quad (6)$$

где A_1^* - параметр потенциала волны, определяется по [6] (таблица 3).

Дифракционная задача для волнения малой амплитуды $r = h/2$, набегающего под произвольным углом на неподвижное судно в условиях мелководья, решена в [3]. Соответствующий потенциал скоростей набегающего волнения задан выражением

$$\Phi^{*(n)} = \frac{rg}{\sigma} \frac{1}{Ch(kH)} Ch[k(z-H)] \cdot \sin(kx \cos \beta + ky \sin \beta - \sigma t). \quad (7)$$

Структура и размерность выражений (6) и (7) одинаковы, отличается только форма записи размерного множителя. Выражение (6) можно переписать в виде

$$\Phi^{*(n)} = K \frac{r_{(1)}g}{\sigma} \frac{Ch[k(z-H)]}{Ch(kH)} \sin(kx \cos \beta + ky \sin \beta - \sigma t), \quad (8)$$

где $r_{(1)} = aA_1^*/k$ - амплитуда волны первого порядка;

$$K = \frac{\sigma^2}{kgTh(kH)} - \text{вспомогательный коэффициент.}$$

Коэффициент K одинаков для всех составляющих потенциала в (4), а для амплитуд волн второго и более высоких порядков получается

$$r_{(j)} = \frac{a^j A_j^*}{k}, \quad (9)$$

где A_j^* - параметры потенциала волны, определяются по [6] (таблица 3).

Таблиця 3

Параметри потенціала волни, $S = Sh(kH)$, $C = Ch(kH)$

$A_1^* = 1 + (a^2 A_{13} + a^4 A_{15})$	$A_2^* = A_{22}^* + a^2 A_{24}^*$	$A_3^* = A_{33}^* + a^2 A_{35}^*$
$A_{13}^* = -[C^2(5C^2 + 1)]/[8S^4]$		
$A_{15}^* = -[1184C^{10} - 1140C^8 - 1992C^6 + 2641C^4 - 249C^2 + 18]/[1536S^{10}]$		
$A_{22}^* = 3/[8S^3]$		
$A_{24}^* = [192C^8 - 424C^6 - 312C^4 + 480C^2 - 17]/[768S^9]$		
$A_{33}^* = [13 - 4C^2]/[64S^6]$		
$A_{35}^* = [512C^{12} + 4224C^{10} - 6800C^8 - 12808C^6 + 16704C^4 - 3154C^2 + 107]/[4096S^{12}(6C^2 - 1)]$		
$A_4^* = [80C^6 - 816C^4 + 1338C^2 - 197]/[1536S^9(6C^2 - 1)]$		
$A_5^* = -[2880C^{10} - 72480C^8 + 324000C^6 - 432000C^4 + 163470C^2 - 16245]/[61440S^{10}(6C^2 - 1)(8C^4 - 11C^2 + 3)]$		

Тогда

$$\Phi^*(x, y, z, t) = \frac{g}{\sigma} \frac{K}{Ch(kH)} \times \sum_{j=1}^5 r_{(j)} Ch[jk(z-H)] \cdot \sin[j(kx \cos \beta + ky \sin \beta t - \sigma t)] \quad (10)$$

Форма записи всех составляющих потенциала скоростей набегающего волнения совпадает с использованной в [3]. Это обстоятельство и линейность краевой задачи позволяет применить для решения дифракционной задачи технику, использованную в [3]. Представим потенциал $\Phi^*(x, y, z, t)$, в виде

$$\Phi^*(x, y, z, t) = \sum_{j=1}^5 [\Phi_c^{*(j)} \cos(j\sigma t) + \Phi_s^{*(j)} \sin(j\sigma t)], \quad (11)$$

где амплитудные функции равны соответственно

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_c^{*(j)} \\ \Phi_s^{*(j)} \end{array} \right\} = \frac{r_{(j)} g K}{\sigma} \frac{Ch[jk(z-H)]}{Ch(kH)} \left\{ \begin{array}{l} \sin[j(kx \cos \beta + ky \sin \beta t)] \\ -\cos[j(kx \cos \beta + ky \sin \beta t)] \end{array} \right\}, \quad (12)$$

Для каждого $\Phi^{*(j)}$, $j = 1, \dots, 5$ определяется соответствующий потенциал скоростей дифрагированного волнового движения $\Phi^{d(j)}$.

Краевая задача для всех составляющих дифракционного потенциала включает условие гармоничности, граничные условия на свободной поверхности жидкости Σ , на смоченной поверхности судна S и на дне водоема D , условие затухания дифрагированных волн на бесконечном

удалении от судна. Кроме того, каждый потенциал $\Phi^{d(j)}$ должен удовлетворять принципу излучения. Представим $\Phi^{d(j)}$ в виде суммы

$$\Phi^{d(j)}(x, y, z, t) = \Phi_c^{d(j)} \text{Cos}(j\sigma t) + \Phi_s^{d(j)} \text{Sin}(j\sigma t). \quad (13)$$

Тогда амплитудные функции $\Phi_c^{d(j)}$ и $\Phi_s^{d(j)}$ должны удовлетворять следующим дифференциальным системам:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \Phi_{c,s}^{d(j)}(x, y, z) = 0, \quad (x, y, z) \in E; \quad (14)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} + \frac{(j\sigma)^2}{g} \right) \Phi_{c,s}^{d(j)}(x, y, 0) = 0, \quad (x, y, 0) \in \Sigma; \quad (15)$$

$$\frac{\partial \Phi_{c,s}^{d(j)}(x, y, H)}{\partial z} = 0, \quad (x, y) \in]-\infty; \infty[; \quad (16)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} (\overline{\text{grad}} \Phi_{c,s}^{d(j)}(x, y, z)) = 0, \quad (x, y, z) \in E, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad (17)$$

$$\frac{\partial \Phi_{c,s}^{d(j)}(x, y, z)}{\partial N} = - \frac{\partial \Phi_{c,s}^{*(j)}(x, y, z)}{\partial N}, \quad (x, y, z) \in S. \quad (18)$$

Далее индекс «d» в описаниях дифракционных потенциалов опущен.

Считая судно удлиненным телом, уточним вид нормальной производной потенциала на смоченной поверхности S . Аналогично тому, как это сделано в [3], получим

$$\frac{\partial \Phi_c^{(j)}(x, y, z)}{\partial N} = B_c^{np(j)} + B_c^{mn(j)}, \quad (19)$$

$$\frac{\partial \Phi_s^{(j)}(x, y, z)}{\partial N} = B_s^{np(j)} + B_s^{mn(j)}.$$

$$\left\{ \begin{matrix} B_c^{np(j)} \\ B_s^{np(j)} \end{matrix} \right\} = \frac{r_{(j)} g K(jk)}{\sigma \text{Ch}(kH)} \text{Sh}[jk(z-H)] \times \\ \times \text{Cos}(\overline{N}, z) \left\{ \begin{matrix} -\text{Sin}[j(kx \text{Cos} \beta + ky \text{Sin} \beta)] \\ \text{Cos}[j(kx \text{Cos} \beta + ky \text{Sin} \beta)] \end{matrix} \right\}; \quad (20)$$

$$\left\{ \begin{matrix} B_c^{mn(j)} \\ B_s^{mn(j)} \end{matrix} \right\} = - \frac{r_{(j)} g K(jk \text{Sin} \beta)}{\sigma \text{Ch}(kH)} \text{Ch}[jk(z-H)] \times \\ \times \text{Cos}(\overline{N}, y) \left\{ \begin{matrix} \text{Cos}[j(kx \text{Cos} \beta + ky \text{Sin} \beta)] \\ \text{Sin}[j(kx \text{Cos} \beta + ky \text{Sin} \beta)] \end{matrix} \right\}. \quad (21)$$

Таким образом, каждый дифракционный потенциал $\Phi^{(j)}$ равен сумме четырех составляющих

$$\Phi^{(j)} = \sum_{i=1}^4 \Phi_i^{(j)}. \quad (22)$$

Дифракционные потенциалы $\Phi^{(j)}$ (каждый отдельно) определяются методом сращиваемых асимптотических разложений (САР) так, как это выполнено в [3].

Следуя процедуре применения метода САР, условно разделим область, занятую жидкостью, на зоны: внешнюю; где $(y/L) = O(1)$, и внутреннюю, в которой $(y/L) = O(\varepsilon)$, $\varepsilon \ll 1$. Предельный переход $\varepsilon \rightarrow 0$ при Y и Z , фиксированных во внешней зоне, превращает корпус судна в отрезок $\Delta = \{-L/2 \leq x \leq L/2, y = z = 0\}$, область E - в область \bar{E}_0 (слой жидкости $0 \leq z \leq H$ с вырезанным отрезком Δ), а свободную поверхность Σ - в плоскость $\bar{\Sigma}_0$ (плоскость $z = 0$ с вырезанным отрезком Δ).

В каждой зоне формулируются отдельные краевые задачи, затем их решения асимптотически сращиваются на границе зон, образуя равномерно пригодное во всей области, занятой жидкостью, приближенное решение задачи.

Во внешней зоне (т.е. в области \bar{E}_0) краевые задачи включают условие гармоничности, граничные условия на свободной поверхности жидкости $\bar{\Sigma}_0$ и на дне водоема D , условие затухания дифрагированных волн на бесконечном удалении от судна и принцип излучения. Граничные условия на смоченной поверхности судна не формулируются, т.к. эта поверхность внешней зоне не принадлежит. Известно только, что при дифракции на корпусе судна продольных волн потенциал возмущенных скоростей непрерывен, а его нормальная производная терпит разрыв при переходе через ДП судна. При дифракции поперечных волн непрерывна нормальная производная потенциала, а потенциал терпит разрыв при переходе через ДП.

Применим метод Фурье к краевым задачам для потенциалов $\Phi_{ic,s}^{(j)}$ в каждой из областей $y > 0$ и $y < 0$. Разложим потенциалы на отрезке $[0; H]$ по полной ортогональной системе функций [10]

$$\begin{aligned} Z_0^{(j)}(z) &= N_0^{-\frac{1}{2}} \cdot Ch[\alpha_0^{(j)}(z-H)], \quad N_0 = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{Sh(2\alpha_0^{(j)}H)}{2\alpha_0^{(j)}H} \right]; \\ Z_m^{(j)}(z) &= N_m^{-\frac{1}{2}} \cdot Cos[\alpha_m^{(j)}(z-H)], \quad N_m = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{Sin(2\alpha_m^{(j)}H)}{2\alpha_m^{(j)}H} \right], \quad m = 1, 2, \dots; \end{aligned} \quad (23)$$

где $\alpha_0^{(j)}$ - действительный положительный корень трансцендентного уравнения

$$\alpha^{(j)} Th(\alpha^{(j)}H) \cdot C^* - \frac{(j\sigma)^2}{g} = 0; \quad (24)$$

$\alpha_1^{(j)} < \alpha_2^{(j)} < \dots$ - последовательность действительных положительных корней трансцендентного уравнения

$$\alpha^{(j)} Tg(\alpha^{(j)} H) \cdot C^* + \frac{(j\sigma)^2}{g} = 0. \quad (25)$$

C^* – см. формулу (5).

Решение внешней задачи получено в предположении о том, что для четных по y составляющих потенциалов

$$\frac{\partial}{\partial y} \Phi_1^{(j)}(x, \pm 0, z) = \pm f_c; \quad \frac{\partial}{\partial y} \Phi_3^{(j)}(x, \pm 0, z) = \pm f_s. \quad (26)$$

Тогда

$$\Phi_{c(1)}^{(j)} = \frac{1}{2H} Z_0^{(j)}(z) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} N_0(\alpha_0^{(j)} R) \int_0^H f_c(\xi, \zeta) Z_0^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi - \quad (27)$$

$$- \frac{1}{\pi H} \sum_{m=1}^{\infty} Z_m^{(j)}(z) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} K_0(\alpha_m^{(j)} R) \int_0^H f_c(\xi, \zeta) Z_m^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi;$$

$$\Phi_{s(1)}^{(j)} = - \frac{1}{2H} Z_0^{(j)}(z) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} J_0(\alpha_0^{(j)} R) \int_0^H f_s(\xi, \zeta) Z_0^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi. \quad (28)$$

Здесь J_0, N_0, K_0 - функции Бесселя, Неймана и Макдональда нулевого порядка действительного аргумента соответственно.

$$\Phi_{c(3)}^{(j)} = \frac{1}{2H} Z_0^{(j)}(z) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} J_0(\alpha_0^{(j)} R) \int_0^H f_s(\xi, \zeta) Z_0^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi; \quad (29)$$

$$\Phi_{s(3)}^{(j)} = \frac{1}{2H} Z_0^{(j)}(z) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} N_0(\alpha_0^{(j)} R) \int_0^H f_s(\xi, \zeta) Z_0^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi - \quad (30)$$

$$- \frac{1}{\pi H} \sum_{m=1}^{\infty} Z_m^{(j)}(z) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} K_0(\alpha_m^{(j)} R) \int_0^H f_s(\xi, \zeta) Z_m^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi.$$

Для нечетных по y составляющих потенциалов

$$\Phi_2^{(j)}(x, \pm 0, z) = \pm p_c; \quad \Phi_4^{(j)}(x, \pm 0, z) = \pm p_s. \quad (31)$$

Тогда

$$\Phi_{c(2)}^{(j)} = \frac{1}{2H} Z_0^{(j)}(z) \cdot \frac{\partial}{\partial y} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} N_0(\alpha_0^{(j)} R) \int_0^H p_c(\xi, \zeta) Z_0^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi - \quad (32)$$

$$- \frac{1}{\pi H} \frac{\partial}{\partial y} \sum_{m=1}^{\infty} Z_m^{(j)}(z) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} K_0(\alpha_m^{(j)} R) \int_0^H p_c(\xi, \zeta) Z_m^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi$$

$$\Phi_{s(2)}^{(j)} = -\frac{1}{2H} Z_0^{(j)}(z) \cdot \frac{\partial}{\partial y} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} J_0(\alpha_0^{(j)} R) \int_0^H p_c(\xi, \zeta) Z_0^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi \quad (33)$$

$$\Phi_{c(4)}^{(j)} = \frac{1}{2H} Z_0^{(j)}(z) \cdot \frac{\partial}{\partial y} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} J_0(\alpha_0^{(j)} R) \int_0^H p_s(\xi, \zeta) Z_0^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi; \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{s(4)}^{(j)} &= \frac{1}{2H} Z_0^{(j)}(z) \cdot \frac{\partial}{\partial y} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} N_0(\alpha_0^{(j)} R) \int_0^H p_s(\xi, \zeta) Z_0^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi - \\ &- \frac{1}{\pi H} \frac{\partial}{\partial y} \sum_{m=1}^{\infty} Z_m^{(j)}(z) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} K_0(\alpha_m^{(j)} R) \int_0^H p_s(\xi, \zeta) Z_m^{(j)}(\zeta) d\zeta d\xi. \end{aligned} \quad (35)$$

Функции $f_{c,s}$ и $p_{c,s}$ на этапе решения внешней задачи неизвестны, они определяются на этапе срачивания решений внешней и внутренней задач.

Во внутренней зоне вводятся растянутые координаты $Y = y/\varepsilon$, $Z = z/\varepsilon$, $\varepsilon \ll 1$, движение с точностью до малых $O(\varepsilon)$ считается двумерным. Область, занятая жидкостью, представляет собой полосу с исключенным шпангоутным контуром $L(x)$. Краевые задачи включают условие гармоничности, граничные условия на свободной поверхности жидкости, на смоченной поверхности судна и на дне водоема. Условие на бесконечном удалении от судна, т.е. на внешней границе внутренней зоны, отсутствует, поэтому решение задачи, как показано в [3], можно найти с точностью до произвольной аддитивной функции. Однако саму функцию определять не требуется, поскольку для выполнения срачивания решений достаточно выписать асимптотику потенциала на внешней границе внутренней зоны (при $Y \rightarrow \infty$).

Для четной по Y составляющей потенциала скоростей асимптотика записывается в виде

$$\frac{\partial}{\partial Y} \Phi^{ev}(Y, Z) \sim \pm \frac{1}{2} \lambda_0 H(\lambda_0) Q(\lambda_0) Ch[\lambda_0(Z - H^*)] \cdot \text{Cos}(\lambda_0 Y), \quad (36)$$

где

$$H(\lambda_0) = \frac{2Ch(\lambda_0 H^*)}{2\lambda_0 H^* + Sh\lambda_0 H^*};$$

H^* – глубина акватории, измеренная в линейном масштабе внутренней зоны.

Величина λ_0 соответствует решению уравнения (24) в терминах внутренней зоны.

Для нечетной по Y составляющей потенциала скоростей асимптотика записывается в виде

$$\Phi^{od}(Y, Z) \sim \pm \frac{1}{2} H(\lambda_0) P(\lambda_0) \text{Ch}[\lambda_0(Z - H^*)] \cdot \text{Cos}(\lambda_0 Y). \quad (37)$$

Действительные функции $P(\lambda_0)$ и $Q(\lambda_0)$ определяются по формулам

$$\begin{cases} P(\lambda_0) \\ Q(\lambda_0) \end{cases} = 2 \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} e^{-\lambda_0 \zeta_0(Y)} \left[T_1(Y) \cdot \begin{cases} \text{Sin}(\lambda_0 Y) \\ \text{Cos}(\lambda_0 Y) \end{cases} + T_2(Y) \cdot \begin{cases} \text{Cos}(\lambda_0 Y) \\ -\text{Sin}(\lambda_0 Y) \end{cases} \right] dY. \quad (38)$$

Где b – ширина шпангоутного контура $L(x)$, измеренная в линейном масштабе внутренней зоны;

$\zeta_0(Y)$ – уравнение контура $L(x)$;

$$\begin{aligned} T_1 &= \lambda_0 A_+(Y) + B_+(Y) \sqrt{1 + \left[\frac{d\zeta_0(Y)}{dY} \right]^2}; \\ T_2 &= \lambda_0 A_+(Y) \frac{d\zeta_0(Y)}{dY}. \end{aligned} \quad (39)$$

В формулы (39) входят значения потенциала скоростей $A_+(Y)$ и нормальной производной потенциала $B_+(Y)$ на контуре $L(x)$. Значение нормальной производной определено граничным условием. Потенциал на контуре неизвестен, поскольку он и является решением задачи. Следуя практике применения функций Н.Е. Кочина в волновых задачах, вместо $A_+(Y)$ в формулы (39) подставляется значение потенциала при бесконечной частоте.

Для срачивания решений используется метод предельного срачивания – «внутренний предел внешнего предела равен внешнему пределу внутреннего предела». Вернемся в (36) и (37) к внешним переменным $y = \varepsilon Y$ и $z = \varepsilon Z$. При этом $\lambda_0 H^*$ переходит в $\alpha_0^{(j)} H$, $P(\lambda_0)$ – в $P(x, \alpha_0^{(j)})$, $Q(\lambda_0)$ – в $Q(x, \alpha_0^{(j)})$, а функции $f_{c,s}$ и $p_{c,s}$ примут вид

$$f_{c,s} = \begin{cases} Q_c(x, \alpha_0^{(j)}) \\ Q_s(x, \alpha_0^{(j)}) \end{cases} \alpha_0^{(j)} \frac{\text{Ch}[\alpha_0^{(j)}(z - H)] \text{Ch}(\alpha_0^{(j)} H)}{2\alpha_0^{(j)} H + \text{Sh}(2\alpha_0^{(j)} H)}; \quad (40)$$

$$p_{c,s} = \begin{cases} P_c(x, \alpha_0^{(j)}) \\ P_s(x, \alpha_0^{(j)}) \end{cases} \frac{\text{Ch}[\alpha_0^{(j)}(z - H)] \text{Ch}(\alpha_0^{(j)} H)}{2\alpha_0^{(j)} H + \text{Sh}(2\alpha_0^{(j)} H)}. \quad (41)$$

Выполняя подстановки и преобразования, получим окончательные выражения для составляющих дифракционного потенциала

$$\Phi_{c,s}^{(j)}(x, y, z) = \frac{jk}{2} \frac{\text{Ch}[jk(z - H)] \text{Ch}(2jkH)}{2jkH + \text{Sh}(2jkH)} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} Q_c(\xi, jk) \begin{cases} N_0(jkR) \\ -J_0(jkR) \end{cases} d\xi; \quad (42)$$

$$\Phi_{c,s(3)}^{(j)}(x, y, z) = \frac{jk}{2} \frac{Ch[jk(z-H)]Ch(2jkH)}{2jkH + Sh(2jkH)} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} Q_s(\xi, jk) \left\{ \begin{matrix} J_0(jkR) \\ N_0(jkR) \end{matrix} \right\} d\xi; \quad (43)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{c,s(2)}^{(j)}(x, y, z) &= \frac{jky}{2} \frac{Ch[jk(z-H)]Ch(2jkH)}{2jkH + Sh(2jkH)} \times \\ &\times \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} P_c(\xi, jk) \left\{ \begin{matrix} N_1(jkR) \\ -J_1(jkR) \end{matrix} \right\} \frac{d\xi}{\sqrt{(x-\xi)^2 + y^2}}; \end{aligned} \quad (44)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{c,s(4)}^{(j)}(x, y, z) &= \frac{jky}{2} \frac{Ch[jk(z-H)]Ch(2jkH)}{2jkH + Sh(2jkH)} \times \\ &\times \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} P_s(\xi, jk) \left\{ \begin{matrix} J_1(jkR) \\ N_1(jkR) \end{matrix} \right\} \frac{d\xi}{\sqrt{(x-\xi)^2 + y^2}}. \end{aligned} \quad (45)$$

Здесь $R = \sqrt{(x-\xi)^2 + y^2}$, J_1 , N_1 – функции Бесселя и Неймана первого порядка действительного аргумента соответственно.

При вычислении функций $P_{c,s}$ и $Q_{c,s}$ используются соответственно

$B_C^{pp(j)}$ – для Q_c ; $B_S^{pp(j)}$ – для Q_s ; $B_C^{pp(j)}$ – для P_c ; $B_S^{pp(j)}$ – для P_s .

Выводы. В работе показаны особенности применения метода сращиваемых асимптотических разложений для решения задачи о дифракции волнения конечной амплитуды на неподвижном судне в условиях значительного мелководья. Определены выражения для потенциала скоростей дифрагированного волнового движения жидкости при произвольном курсовом угле волнения.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Хаскинд М.Д. Гидродинамическая теория качки корабля / М.Д. Хаскинд. – М.: Наука, 1973. – 327 с.
2. Нильва А.Е. Силы волновой природы, действующие на значительном мелководье и мели. Дис... канд. техн. наук / А.Е. Нильва. Одес. гос. мор. ун-т. – Одесса, 2001. – 202 с.
3. Ефремова Н.В. Определение параметров качки малого судна при подходе к судну-партнеру на рейдовой стоянке. Дис... канд. техн. наук / Н.В. Ефремова. Одес. гос. мор. ун-т. – Одесса, 2001. – 173 с.

4. Fenton J.D. *Nonlinear wave theories // The Sea, Vol.9: Ocean Engineering Science / B. Le Mehaute, D.M. Hanes, Eds. – Wiley, New York, 1990. – 19 p.*
5. Fenton J.D. *The cnoidal theory of water waves // Developments In Offshore Engineering: Wave Phenomena And Offshore Topics / Herbich J.B., Editor. – Gulf Publishing Company, 1998. – P. 55-100.*
6. Kinnas A.S. *Notes on fifth-order gravity wave theory // Fundamentals of offshore structures and design of fixed offshore platforms / OTRC/UT Austin, 13.04.2007. – 9 p.*
7. Федорова Е.Ю. *Расчетные модели волнозащитных и берегоукрепительных сооружений морского побережья и водохранилищ: Дис... канд. техн. наук / Е.Ю.Федорова; Одес.нац.мор. ун-т. – Одесса, 2005. – 281 с.*
8. Сердюченко А.Н. *Динамика морских волн и судна в шторме с учетом нелинейных эффектов // Гидромеханика. Межведомственный сборник научных трудов. – Вып. 72. – К.: НАН Украины. Институт гидромеханики, 1998. – С. 112-134.*
9. *Мореходность судов и средств океанотехники. Методы оценки: Монография / Под ред. И.К. Бородая. – ФГУП «Крыловский государственный научный центр». – СПб., 2013. – 256 с.*
10. Воробьев Ю.Л. *Гидродинамика судна в стесненном фарватере / Ю.Л. Воробьев. – СПб.: Судостроение, 1992. – 224 с.*
11. Демидюк А.В., Ефремова Н.В., Чернецкий А.В. *О назначении характеристик волнения при планировании экспериментов в опытовом бассейне ОНМУ // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ, 2015. – № 45. – С.145-156.*

Стаття надійшла до редакції 25.12.2015

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, генеральний директор
Морського інженерного бюро **Г.В. Єгоров**

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.В. Демідюк**

УДК 629.5

O.O. Kanifolskyi, L.M. Krysyuk

THE CONCEPT OF SMALL HIGH-SPEED FERRY

В статті приведені рекомендації, щодо можливого розвитку суднобудівної промисловості в напрямку малих швидкісних суден. Одна з причин – це малі початкові витрати в порівнянні з будуванням великих суден. Витрати, що пов'язані з проектуванням будуть також меншими. Сектор швидкісних суден зазвичай пов'язують з пасажирськими та пасажирсько-вантажними поромами, суднами спеціального призначення (туристичними, спортивними та рятувальними). В цій статті запропонований варіант малого порому місткістю, що дорівнює параметрам туристичного автобусу, та здатного зробити автомобільно-пасажирські перевезення в напрямку Європи більш комфортабельними.

Ключові слова: швидкісні судна, малий пором, перевезення пасажирів та автомобілів.

В статье приведены рекомендации относительно возможного развития судостроительной промышленности в направлении малых скоростных судов. Одна из причин - это малые первоначальные затраты по сравнению со строительством крупных судов. Расходы, связанные с проектированием будут также меньше. Сектор скоростных судов обычно связывают с пассажирскими и пассажирско-грузовыми паромами, судами специального назначения (туристическими, спортивными и спасательными). В этой статье предложен вариант малого парома вместимостью, равной вместимости туристического автобуса, и способного сделать автомобильно-пассажирские перевозки в направлении Европы более комфортабельными.

Ключевые слова: быстроходные суда, малый паром, перевозка пассажиров и автомобилей.

For the effective development of the shipbuilding industry, the direction of the small high-speed vessels can choose. One of the reasons is small initial costs for constructing of small-vessel compared with the constructing of large ships. The cost of designing work will be less, also. The sector of fast ships has been always in the demand in the maritime complex, as passenger and cargo ferries, special purpose ships (tourism, sport and rescue). In this article, the variant of small ferry with a capacity equal to the capacity of tourist bus and able to make passenger and car transportation in the direction to Europe more comfortable is proposed.

Keywords: high-speed vessels, small ferry, transportation of passengers and vehicles.

The purpose of this work is a conceptual project of small ferry, which is created by using of modern methods of theory ship design, and some requirements of the International Maritime Conventions.

The period of the flight fast ferries, with aircraft type passenger cabin will be limited to a period of time, which a passenger can withstand without discomfort. Researcher Levi [1] proposes to limit this period to ten hours and space equal to one and a half square meters per passenger.

On the map there are many places suitable for high-speed cargo vessels with a short duration of time of flight. One of the possible directions for development of passenger ferry is Odessa port – port Balchik, the closest Bulgaria's port or Constanta (Romania). Such line served by small speed cargo-passenger ferry would be popular and effective because the state of Ukrainian roads in the direction to Romania there is bad and there are no effective crossings over Danube River. Passenger capacity of the ferry is about forty people, given that the average number of passengers in a passenger car – three people, auto capacity about twelve cars, travel time ten hours. Such passenger capacity corresponds to the passenger seating capacity of the bus. If ticket prices for passengers and transportation vehicles will be competitive compared to road transport, and also considering saving time spent on customs and border checks, this kind of traffic will be in demand. Possible scope of such vessels and passenger ships – is lines between the ports of the Black Sea coast and the marine sphere of urban and suburban transport. Such vessels could promote not only to discharge of urban and suburban highways, for example, in Odessa and its environs, but also to ensure environmental security in the region. New international requirements for the prevention of air pollution, for ships, lead to the fact that the new vessel, which satisfies these requirements, will bring less harm to the environment than a car engine, which can be transported on this ship.

In the Black Sea, waves are characterized as follows. Weak waves prevail in summer, wave height less than 1 m exists in 55-70 % of cases. In winter, the repeatability of such waves is reduced in the northeast region to 40 % in the rest of the sea up to 27 %. Waves of heights 2-3 meters are most often in the winter, their frequency in this period reaches 20%, in the rest of the year it is not more than 12 %. Wave height of 6 m or more are rare; their frequency does not exceed 1 % (December-February). From the experience of operating coastal passenger vessels, it is known, such vessels perform their functions at waves of 4 points (the height of waves up to two meters, distance to the port of refuge less than twenty nautical miles). These parameters correspond to the class of vessel R3-RSN in rough sea with wave height to 3.5 m, distance from places of refuge not more than 50 miles. The modern fast ferries are operated at waves up to 3 meters, while reducing the ship's speed by 12 %, for example «Guizzo» [2].

By type of cargo fast ferries are passenger and cargo-passenger. It ships with ro-ro cargo operations (Roll-on / Roll-off). Classifying fast ferries of the type of propulsion is possible to note ships, which used propellers or water jets, can be a combination of these two types of propulsors, «Isola di Stromboli».

This option provides additional capabilities for varying the speed of the vessel during the operation.

From three options of movement: displacement, transitional and planing mode, the second mode of operation is typical for the fast monohull ferries.

International documents identify several categories of passenger high-speed craft. Ship Category A – Any high-speed passenger ship carrying not more than 450 passengers on the route operated, which was demonstrated by the high probability that in case of an evacuation, all the passengers and crew could be saved over the shorter of the following periods: a period of time, necessary to ensure that the people in the lifeboats or rafts, were not exposed to the environment, leading to hypothermia or 4 hours (HSC passenger-A). In the category of vessel B – high-speed passenger vessel, other than a vessel of category A, the vessel designed so that in case of damage or flooding of one compartment, the boat retains the ability to safely float (HSC passenger-B).

High-speed operation of fast ferries, with waves of more than 5 points, is usually not provided, due to the regulations of comfort («Guizzo»). Wave height 3.5 m, corresponding to 5 points, characterizes of the navigation area R3-RSN. It is, by definition [3] – river-sea navigation in rough seas with wave height to 3.5 m, with 3 percent probability, the maximum distance from a place of refuge not more than 50 miles. Below is a figure showing the relationship of wind and sea waves, table 1.

Rules GL, RINA and BV considered for high-speed vessels, the area «Restricted open sea», which is characterized by height «significant» waves and represent $2.5m < h_{1/3} < 4.0m$. The average height of the largest third of waves $h_{3\%} = 1,33h_{1/3}$.

Table 1

The relationship of wind and sea waves

Wind		Sea waves	
Points	Speed range, m / s	Points	The range of wave height 3% probability, m
0	0 – 0,5 (0)	0	0
1	0,6 – 1,7 (1)	1	to 0,25
2	1,8 – 3,3 (2,5)	2	0,25 – 0,75
3	3,4 – 5,2 (4,5)	3	0,75 – 1,25
4	5,3 – 7,4 (6,5)	4	1,25 – 2,0
5	7,5 – 9,8 (8,5)	4	1,25 – 2,1
6	9,9 – 12,4 (11)	5	2,0 – 3,5
7	12,5 – 15,2 (14)	6	3,5 – 6,0
8	15,3 – 18,2 (17)	6	6,0 – 8,5

Analysis of the materials of the hulls of modern high-speed ferries showed that the material of the hull can be used high-strength steel, aluminum alloys, as well as the combination of these two materials (hull - high-strength steel, superstructure - aluminum alloy).

The ships of the transitional mode occupy an intermediate position between displacement ships and planning. The designer does the work on the choice of values of relative dimensions, the coefficients of the hull and the shape of its contours, for reducing the resistance of water at relative velocities of the transitional mode. In the design of vessels of this mode, it is necessary to give attention to the weight of the hull and its strength, due to the emerging dynamic loads. The wetness, flooding, and the stability of these vessels should not be overlooked, which are associated with their high speeds and the appearance of additional hydrodynamic forces. All these seeakeaping qualities of the vessel are considered at different stages of the project. One of the variants of the main stages of the project described in the literature [4] and it is a systematic approach to the design process. In this paper, the design philosophy was considered and noted that the design of vessels – a specific process, see Figure 1. The first step of the design Concept Design consists two phases of the process: Concept Exploration and the Concept Development.

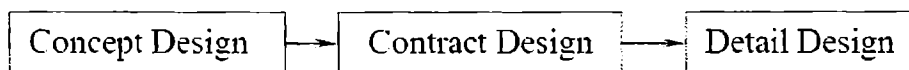


Figure 1. Main stages of the development of the project

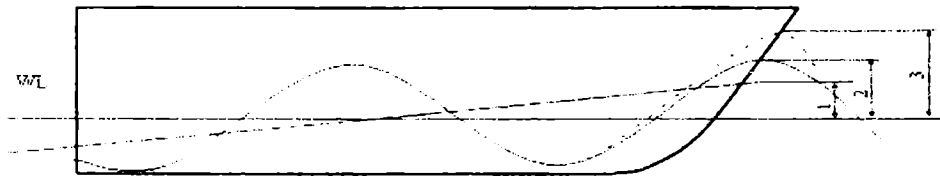
The results of the first phase Concept Exploration are: a preliminary assessment of costs and efficiency; choice of technology; choice of the basic concept of the basic features, «one digit» estimate the weight and risks. The second phase (Concept Development) is a traditional spiral of the design. The result of this process – a more detailed study of the geometry of the vessel and the weights («two-digit» estimate), the main parts of the vessel, the body lines sketch, the preliminary study of the general arrangement, and the estimate of seeakeaping qualities. At this stage of the project, it is demonstrated that the results obtained in the Concept Exploration are balanced and workable. In this article, the Concept Development was selected for study.

The study of this article included the process of determining the main dimensions of the vessel based on the data of [5] and takes into account the seeakeaping, technical and operational quality of the future vessel. The calculations also include clarification vessel's stability in the transitional mode, taking into account the emerging hydrodynamic forces at hull [6]. Many calculation methods for the definition of hydrodynamic and hydrostatic forces in the planning mode are known, but information about values of these forces and their location on a ship's hull when operating in the transitional mode is absent. Such recommendations are given in paper [6].

The wetness of these vessels should not be overlooked. The requirements about of the minimum bow height of ship are included in the texts of International Convention on Load Lines (the old version and new). These requirements sometimes are differing. Besides, in these normative documents, at purpose of the minimum bow height of ship is not taken into account velocity ship. The need to compare new and old methods of the calculation appeared and after we can use this knowledge in process of the designing of ships.

Howard's formula, which takes into account the speed of the vessel, for assignment of freeboard at the bow, proposed in [7], $F_b = \frac{v}{3} \pm 1$, where v – the speed of the vessel, knots. For vessels with small length, it is better to use Howard's graph.

In the appointment of the bow height of a small vessel, a dominant value of the wave height must be selected. This may be the height of sea waves or formed wave, figure 2.



*Figure 2. Three parts of submersions of the fore end of ship:
1 – pitch; 2 – sea waves; 3 – formed waves*

Kent formula $h_{fw} = 0,94B \frac{FrL^2}{l_e}$ is designed to calculate height of the formed waves and proposed to apply for low-speed and medium-speed vessels. The height of formed waves will be depended on the relative velocity, the width of the hull and the relative entrance length $l_e = \frac{L}{L}$. Similar an empirical formula for estimating height of the formed waves is used in Regulation China Classification Society [8]. This formula Tasaki $h_{fw} = 0,75B \frac{FrL^2}{l_e}$ is a similar to Kent's formula.

On table 2, the heights of the formed wave are represented, for different values of the Froude number.

The second, but no less important factor influencing the choice of the desired value of the bow height is the amplitude of the pitching. For small passenger vessels, on a wave of up to 4 points, the amplitude of the pitching can reach 7° , the minimum value is 3° [1]. Trim is calculated from the expression $\Delta = L \times tg\psi$. Immersion of the bow for concept ferry, as a result of pitching will be equal to 0,8 m.

Table 2

Formed wave height determined by different formulas

Froude number Fr_L	Formed wave height, m	
	Kent formula $h_{fw} = 0,94B \frac{Fr_L^2}{l_e}$	Tasaki formula (China Classification Society) $h_{fw} = 0,75B \frac{Fr_L^2}{l_e}$
0,4	0,9	0,7
0,71	2,8	2,2

The third component of immersion of bow is sea waves. This article covers ships of restricted area river-sea navigation R3-RSN, with the corresponding height of waves up to 3.5 m. Half of wave height is about 1.75 m.

Worst case, in terms of wetness, is variant, when waves that are created by the movement of the ship and sea waves are coherent and boat speed is unchanged. In this case, the summation wave heights are possible (method of summation)

$$F_b = h_{fw} + h_{pitch} + h_w = 2,2 + 0,8 + 1,75 = 4,75 \text{ m} . \quad (1)$$

The F_b defined by Howard's graph is 4,7 m.

In the calculations it is assumed that the sea waves and formed waves are coherent. In real terms this effect may not occur or the master can affect the event by changing the ship's speed and direction of motion. It should also be taking into account that in the waves the boat speed will be reduced. In the table below, two variants (still water, pitch and formed waves or rough water plus pitch) are presented.

The minimum bow height of ship defined on formula

$$F_b = 56L \left(1 - \frac{L}{500}\right) 1,36 / (c_b + 0,68),$$

for ships by length less than 250 m. This requirement was in old versions International Convention on Load Lines, which acted before 2005. In these formulas, the minimum bow height of ship depends on such parameters: length of ship and the block coefficient. The required minimum bow height of ship will decrease, with increase of the block coefficient. This convention's position, at first thought not logistical, because one of the amendments to minimum freeboard of ship is a correction for block coefficient. The freeboard must be increase, at growing of this coefficient. Really, the freeboard table were made for

«base ship», with typical parameters ($c_b = 0,68$, $\frac{L}{D} = 15$, etc.). If the factor c_b increases, then displacement of ship $V = c_b L B d$ grows too, but relative reserve buoyancy $\frac{W}{V} = \frac{c_w L B F_b}{c_b L B d} = \frac{c_w F_b}{c_b d}$ decreases. Possible, in old convention's version, we expected that enlarging freeboard is sufficient.

The new version of the formula, for calculation of the minimum bow height of ship, is shown below.

$$F_b = (6075(\frac{L}{100}) - 1875(\frac{L}{100})^2 + 200(\frac{L}{100})^3)(2,08 + 0,609c_b - 1,603c_{wf} - 0,0129\frac{L}{d_1}), \quad (2)$$

where F_b – is the calculated minimum bow height, in mm;

L – is the length, in m;

B – is the moulded breadth, in m;

d_1 – is the draught at 85% of the depth D , in m;

c_b – is the block coefficient;

c_{wf} – is the waterplane area coefficient forward of $L/2$.

In new formula, it is taken to account else two parameters: c_{wf} – waterplane area coefficient forward of $L/2$ and parameter $\frac{L}{d_1}$.

With growing of the factor c_{wf} , required minimum bow height of ship will decrease (to account of the increase the volume of buoyancy in the fore end).

The parameter $\frac{L}{d_1}$ renders same influence to minimum bow height of ship as c_{wf} ; with growing of this parameter required minimum height will decrease. At growing of relative length $\frac{L}{d_1}$ we can observe increase longitudinal

metacentric height $H = \frac{M_h}{\Delta \sin \psi}$ and reduction of pitch ψ ($\frac{L}{d_1} \uparrow \rightarrow H \uparrow \rightarrow \psi \downarrow$).

On table 3 there are results of calculation for old and new convention's versions and by method of summation.

Table 3

*Results of calculation for old and new convention's versions
and by method of summation*

Length ship L , m	New rules LL F_b , mm	Old rules LL F_b , mm	$h_w = 3,5$ m, pitch, F_b , mm	Still water, $Fr_L = 0,71$, pitch, F_b , mm
30	2049	1851	2536	2986
31	2111	1909	2562	3012

The results of the study of main dimensions of small high-speed vessel, figure 3.

Length	30.6 m
Width	5.1 m
Draught	1.0 m
Bow height	3.0 m
Speed	24 knots.
Number of passengers	40 persons.
Number of cars	12
Light weight ship	54 t
Main engine power	1100 kW

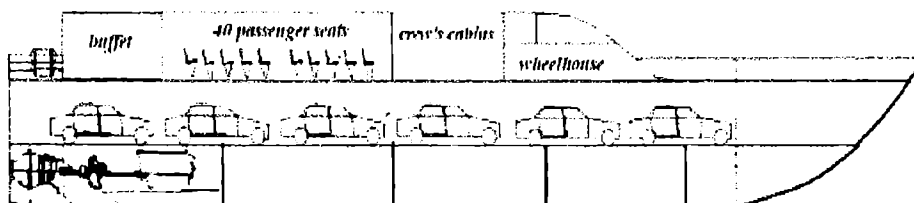


Figure 3. The sketch of the general arrangement of small fast ferry

The definition of price of the vessel is based on analyze of world prices for this type ships. The calculation showed that the ratio of the vessel prices in USD to the light weight ship LW is in the range 0,021- 0,024 million USD / t.

$$\text{Price of the vessel} = 0,021LW = 1,1 \text{ million USD} \quad (3)$$

The cost of works, on the Ukrainian shipyards, less than the European market by 30-40 %. Estimated price of the vessel in Ukraine is 0.7 million USD. This ferry line can compete with auto roads. The journey time by ferry is 10 hours. During the day, the ferry carries two flights. For example, it was taken 20 days of exploitation. The ticket price is 50 \$ for a passenger, freight cost for auto place is 100 \$ per car. The revenue per flight will be 3200 \$. The

costs per flight will be 2900 \$ (fuel 2300 \$; salary 400 \$; port charges and other 200 \$). The profit per flight is 300 \$ for the year 144000 \$.

The period of the recoument $PP = \sum_{k=1}^n P_k \geq IC$ is one of the most common indicators to measure the effectiveness of investments. The cash flow in the k-th year is sum of two components $P_k = \Pi_c + A_k$: Π_c – net profit and A_k – amortization. This project will pay off for 5 years. The profitability of one flight will be 10 %. This project can be used in coastal ferry flights, after little changes and increase the number of passenger seats (for example, Odessa-Zatoka, journey time is 2 hours). Duration of this trip is comparable with the travel by car.



Figure 4. The possible directions for development of passenger ferry

Conclusion. One of the advantages of small vessels – small initial costs associated with the construction of a small craft. Approximate price of small fast ferries is 0.7 million USD. The project will pay off for 5 year. Short lines, with small duration of flight, are preferred, because the opportunity to design minimum areas for passengers exists. As a result of the study, the main dimensions, the weights, the sketch of the general arrangement of the vessel were obtained by using of modern methods of theory ship design, and some requirements of the International Maritime Conventions.

REFERENCES

1. Лези Б.З. *Пассажирские суда прибрежного плавания.* – Л.: Судостроение, 1975. – 320 с.
2. «Guizzo» *main characteristics and performances // L'automazione Navale.* – 1993. – P. 10.
3. *Rules for the classification and construction of sea-going ships.* – V. 3. – RMRS. – 2007.
4. David Cash. *Design Report Agile Surface Combatant (ASC) VT Total Ship Systems Engineering.* Virginia Polytechnic Institute and State University. – 2004. – 108 p.
5. Kanifolskyi O.O. *The definition of the main dimensions of high-speed displacement monohull ships on the first steps of project: Publication for a scientific degree of the candidate of technical sciences (PhD) on a specialty 05.08.03 - mechanics and construction of ships.* Odessa national maritime university. – Odessa, 2003. – 153 p.
6. Kanifolskyi O.O. *The stability of high speed small ship in transitional mode // International Journal of Small Craft Technology.* – London: The Royal Institution of Naval Architects. – 2014. – Vol. 156. – Part B1. – P. 35-38.
7. Ашик В.В. *Проектирование судов.* – Л.: Судостроение, 1985. – 317 с.
8. Journée J.M.J., J.O. de Kat H., Vermeer. *Evaluation of Minimum Bow Height and Freeboard Based on Probabilistic Deck-Wetness Considerations // Ship Hydromechanics Laboratory.* – Osaka: Delft University of Technology. – 2000. – Report 1232.

Стаття надійшла до редакції 22.12.2015

Рецензент – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.В. Демідюк**

УДК 629.12.073+681.3

В.В. Челабчи

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ХВИЛЬОВОЇ ГІДРОМЕХАНІКИ

Розглянуто створення методичного забезпечення обчислювального експерименту в області хвильової гідродинаміки. Об'єкт – хитавиця судна. Розроблено методуку спільного застосування кінцево-різницевого і проєкційно-сіткового методів. Проведено порівняння результатів експериментів і математичного моделювання.

Ключові слова: обчислювальний експеримент, хвильова гідродинаміка, методичне забезпечення.

Рассмотрено создание методического обеспечения вычислительного эксперимента в области волновой гидродинамики. Объект – качка судна. Разработана методика совместного применения конечно-разностного и проекционно-сеточного методов. Проведено сравнение результатов экспериментов и математического моделирования.

Ключевые слова: вычислительный эксперимент, волновая гидродинамика, методическое обеспечение.

We consider the creation of methodical maintenance of computer simulations in the field of wave hydrodynamics. The object – a pitching ship. The technique of joint use of the finite-difference and projection-grid methods is designed. A comparison of the results of experiments and mathematical modeling is done.

Keywords: computational experiment, wave hydrodynamics, methodological support.

Вступ. Отримання достовірної інформації про процеси взаємодії корпусу плаваючого засобу з хвилями представляє практичний інтерес, як при прогнозуванні динаміки зануреного в рідину корпусу, так і при визначенні динамічної дії на його поверхню. Не менш важливими є завдання про дію штормових хвиль і цунамі на берегові споруди. Рішення подібних задач можливе методами фізичного або математичного моделювання.

Нині дуже актуальними є питання дослідження процесів хитавиці мілкосидячих судів. Інтегральні параметри хитавиці визначаються гідродинамічними коефіцієнтами: приєднаних мас і демпфування [1]. Визначення названих коефіцієнтів можливе на основі модельного [2] чи натурального експерименту. Альтернативою експериментальним методам являється комп'ютерне моделювання.

Математична модель процесу, найчастіше, базується на асимптотичній теорії хитавиці судна, використання якої для вирішення різноманітних задач описане в роботах [3-4]. Гідродинамічні коефіцієнти хитавиці судна визначаються за результатами рішення систем диференціальних рівнянь в частинних похідних з відповідними крайовими умовами першого або другого роду. У деяких специфічних випадках, для замикання математичної моделі використовуються відповідні диференціальні і алгебраїчні рівняння.

Найчастіше, рішення шукається за допомогою Фур'є перетворень, що приводить до розрахунку нескінченних знакозмінних рядів. Автором розроблялися прийоми ефективних обчислення подібних рядів [5].

Ці перетворення вдається виписати в замкнутому (формульному) виді тільки для областей канонічної форми (прямокутник, еліпс). Проте для реальної форми корпусу судна відбити подібні перетворення кінцевою аналітичною залежністю не вдається.

Задачу можна вирішувати на основі варіаційного підходу використовуючи проєкційно-сітковий метод [6-7]. Має рацію використання комбінації проєкційних і різницевих методів, що пропонується в [8].

Методика проведення обчислювального експерименту. У загальному випадку розглядається генерація хвиль у важкій ідеальній рідині викликаних гармонійними коливаннями корпусу судна будь-якої конфігурації. Приймається, що амплітуда хвиль, що генеруються, і переміщення корпусу відносно необуреної поверхні сумірні з осадкою. Хвилі поширюються в нескінченному напівпросторі без відображення і поглинання. У загальному випадку розглядається модель (1). де Φ – потенціал обурених швидкостей рідини в моделях хвильової гідродинаміки.

Розглядалися граничні умови Дирихле (2) та Неймана (умова непротікання) (3) на поверхні області S.

$$\left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial Z^2} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\Phi_s = f(S) \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial N_s} \right|_s = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial X} \cdot \cos(\alpha) + \frac{\partial \Phi}{\partial Y} \cdot \cos(\beta) + \frac{\partial \Phi}{\partial Z} \cdot \cos(\gamma) \right) \Big|_s = 0 \quad (3)$$

де N – нормаль до поверхні S;

$\cos(\alpha)$, $\cos(\beta)$, $\cos(\gamma)$ – направляючі косинуси вузла на поверхні S.

Відповідно до особливостей методики вся область розбивається на кінцеву кількість локальних областей, в яких шукаються рішення за умови зшивання рішень в локальних областях, які можуть перекривати одна одну.

З кожною з локальних областей, зв'язується локальна система відносних координат з осями x, y, z найчастіше орієнтованими паралельно до осей відповідно X, Y, Z .

Призначається кілька типових (базових) видів локальних областей зі своїми локальними координатними системами x_{nz}, y_{nz}, z_{nz} . Форма локальної області, розташування початку локальних координат і розміщення вузлів всередині локальної області в достатній мірі довільні.

Значення глобальних координат X, Y, Z і значення локальних (відносних) координат x, y, z вузлових точок окремої локальної області пов'язані залежностями (4).

$$X = x \cdot m_{x_{nz}} + X_{0_{nz}}, \quad Y = y \cdot m_{y_{nz}} + Y_{0_{nz}}, \quad Z = z \cdot m_{z_{nz}} + Z_{0_{nz}}, \quad (4)$$

де $m_{x_{nz}}, m_{y_{nz}}, m_{z_{nz}}$ – масштабні коефіцієнти локальної області з індексом nz ;

$X_{0_{nz}}, Y_{0_{nz}}, Z_{0_{nz}}$ – глобальні координати локальної області з індексом nz (глобальні координати початку локальної системи координат області).

В принципі коефіцієнти m_x, m_y, m_z можуть приймати не однакові значення. Але для зручності викладок та з метою економії обчислювальних ресурсів має сенс приймати однакові значення масштабних коефіцієнтів, де kz – єдиний масштабний коефіцієнт локальної області.

На рис. 1 показана схема розміщення локальної області в системі глобальних координат.

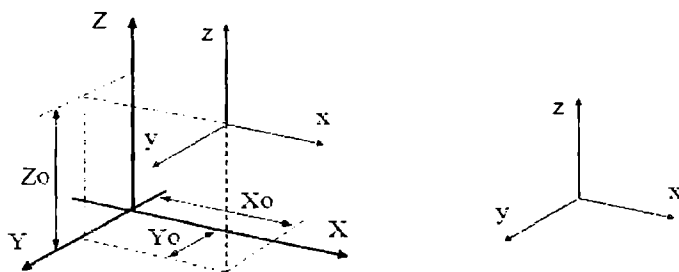


Рис. 1. Схема зв'язку глобальних і локальних координат

При переході від глобальній системі координат до системи локальних координат отримуємо (5), (6), (7).

$$\left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (5)$$

$$\Phi_S = f(S) \quad (6)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} \Big|_s = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \cdot \cos(\alpha) + \frac{\partial \Phi}{\partial y} \cdot \cos(\beta) + \frac{\partial \Phi}{\partial z} \cdot \cos(\gamma) \right) \Big|_s = 0 \quad (7)$$

Функція, що апроксимує рішення в будь-якій локальній області може мати різний вигляд. Головне щоб вона та її похідні були безперервними і досить гладкими. У даній розробці розглядалися апроксимуючі функції: (8) для стаціонарних процесів і (9) для нестационарних процесів.

$$\Phi = \sum_{k=0}^{k_{\max}} \sum_{j=0}^{j_{\max}} \sum_{i=0}^{i_{\max}} a_{ijk} \cdot x^i \cdot y^j \cdot z^k \quad (8)$$

$$\Phi = \sum_{e=0}^{e_{\max}} \sum_{k=0}^{k_{\max}} \sum_{j=0}^{j_{\max}} \sum_{i=0}^{i_{\max}} a_{ijk e} \cdot x^i \cdot y^j \cdot z^k \cdot \tau^e, \quad (9)$$

де Φ – функції, що апроксимуються;

x, y, z – координати;

τ – час.

При підстановці виразів для перших і других похідних апроксимуючої функції в рівняння математичної моделі (6) отримуємо (10). Тут і далі, для простоти викладу, індекс що відносить величину до конкретного вузлу опущений.

$$\left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right) = \sum_{k=0}^{k_n} \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{i=0}^{i_n} (a_{ijk} \cdot (c_{lx} + c_{ly} + c_{lz})) = 0 \quad (10)$$

$$\text{де} \quad \left\{ \begin{array}{ll} i < 2 & c_{lx} = 0; & i \geq 2 & c_{lx} = i \cdot (i-1) \cdot x^{i-2} \cdot y^j \cdot z^k \\ j < 2 & c_{ly} = 0; & j \geq 2 & c_{ly} = j \cdot (j-1) \cdot x^i \cdot y^{j-2} \cdot z^k \\ k < 2 & c_{lz} = 0; & k \geq 2 & c_{lz} = k \cdot (k-1) \cdot x^i \cdot y^j \cdot z^{k-2} \end{array} \right\}.$$

Середнє значення квадрата нев'язки для вузлових точок всередині локальної області (11).

$$\delta_1 = \frac{1}{m_n} \sum_{m=1}^{m_n} \left(\sum_{k=0}^{k_n} \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{i=0}^{i_n} (a_{ijk} \cdot (c_{lx} + c_{ly} + c_{lz})) \right)^2, \quad (11)$$

де m_n – кількість вузлових точок всередині локальної області.

Для задоволення умови (7) в кожному вузлі ($x_{msn}, y_{msn}, z_{msn}$) нерухомого кордону S де реалізуються умови непротіканія повинно виконуватися (12).

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial n} \right|_S = \sum_{k=0}^{k_n} \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{i=0}^{i_n} [a_{ijk} \cdot (c_{fx} \cdot \cos(\alpha) + c_{fy} \cdot \cos(\beta) + c_{fz} \cdot \cos(\gamma))] = 0, \quad (12)$$

$$\text{де} \quad \left\{ \begin{array}{ll} i = 0, & c_{fx} = 0; & i \geq 1, & c_{fx} = i \cdot x^{i-1} \cdot y^j \cdot z^k \\ j = 0, & c_{fy} = 0; & j \geq 1, & c_{fy} = j \cdot x^i \cdot y^{j-1} \cdot z^k \\ k = 0, & c_{fz} = 0; & k \geq 1, & c_{fz} = k \cdot x^i \cdot y^j \cdot z^{k-1} \end{array} \right\}.$$

Середнє значення квадрата нев'язки для вузлів $(x_{msn}, y_{msn}, z_{msn})$ на границі S згідно (12) має вигляд (13)

$$\delta_2 = \frac{1}{m_{smm}} \sum_{m_{sn}=1}^{m_{smm}} \left[\sum_{k=0}^{k_n} \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{i=0}^{i_n} a_{ijk} \cdot \left(\begin{array}{l} c_{fx} \cdot \cos(\alpha) + \\ + c_{fy} \cdot \cos(\beta) + \\ + c_{fz} \cdot \cos(\gamma) \end{array} \right) \right]^2 = 0, \quad (13)$$

де m_{smm} – кількість вузлових точок на границі S.

Для задоволення умови (6) в кожному вузлі (x_{mg}, y_{mg}, z_{mg}) умовної границі G і для реалізації умов зшивання повинно виконуватися (14).

$$\Phi(x_{mg}, y_{mg}, z_{mg}) = \sum_{k=0}^{k_n} \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{i=0}^{i_n} (a_{ijk} \cdot c_{fg}) = F(x_{mg}, y_{mg}, z_{mg}), \quad (14)$$

де $c_{fg} = x^i \cdot y^j \cdot z^k$;

F – значення функції Φ в подібній точці сусідньої локальної області.

Середнє значення квадрата нев'язки для вузлів на границі G (15)

$$\delta_3 = \frac{1}{m_{gn}} \sum_{m_g=1}^{m_{gn}} \left(\sum_{k=0}^{k_n} \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{i=0}^{i_n} (a_{ijk} \cdot c_{fg}) - F(x_{mg}, y_{mg}, z_{mg}) \right)^2, \quad (15)$$

де m_{gn} – кількість вузлових точок, де реалізується умови (4) та зшивання.

Для спільного задоволення розв'язувати рівняння, граничним умовам і умовам зшивання рішень в суміжних локальних областей підсумовуються середні значення квадратів нев'язок (11), (13), (15) з урахуванням ступеня впливу окремих складових (16)

$$\delta_\Sigma = \sum_{i=1}^{n_k} k_{fi} \cdot \delta_i, \quad (16)$$

де k_f – вагові коефіцієнти впливу.

Таким чином, вираз для функціонала δ_Σ має вигляд (17).

Надалі для зручності викладу використовується позначення (18)

$$\begin{aligned} \delta_\Sigma = & k_{f1} \cdot \frac{1}{m_n} \sum_{m=1}^{m_n} \left(\sum_{k=0}^{k_n} \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{i=0}^{i_n} (a_{ijk} \cdot (c_{lx} + c_{ly} + c_{lz})) \right)^2 + \\ & + k_{f3} \cdot \frac{1}{m_{smm}} \sum_{m_{sn}=1}^{m_{smm}} \left[\sum_{k=0}^{k_n} \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{i=0}^{i_n} a_{ijk} \cdot \left(\begin{array}{l} c_{fx} \cdot \cos(\alpha) + \\ + c_{fy} \cdot \cos(\beta) + \\ + c_{fz} \cdot \cos(\gamma) \end{array} \right) \right]^2 + \\ & + k_{f5} \cdot \frac{1}{m_{gn}} \sum_{m_g=1}^{m_{gn}} \left(\sum_{k=0}^{k_n} \sum_{j=0}^{j_n} \sum_{i=0}^{i_n} (a_{ijk} \cdot c_{fg}) - F(x_{mg}, y_{mg}, z_{mg}) \right)^2 \end{aligned} \quad (17)$$

$$a_R = a_{ijk}, \quad (18)$$

де $R = i+(i_n+1) \cdot j+(i_n+1) \cdot (j_n+1) \cdot k$, $R_m = i_n+(i_n+1) \cdot j_n+(i_n+1) \cdot (j_n+1) \cdot k_n-1$.

При $0 \leq i \leq i_n, 0 \leq j \leq j_n, 0 \leq k \leq k_n, 0 \leq R \leq R_m$.

Отже, вираз (17) з урахуванням (18) набуде вигляду (19)

$$\begin{aligned} \delta_{\Sigma} = & k_{f1} \cdot \frac{1}{m_n} \sum_{m=1}^{m_n} \left(\sum_{R=0}^{R_m} (a_R \cdot (c_{ix} + c_{iy} + c_{iz})) \right)^2 + \\ & + k_{f3} \cdot \frac{1}{m_{\text{sum}}} \sum_{m_n=1}^{m_{\text{sum}}} \left[\sum_{R=0}^{R_m} a_R \cdot \begin{pmatrix} c_{fx} \cdot \cos(\alpha) + \\ + c_{fy} \cdot \cos(\beta) + \\ + c_{fz} \cdot \cos(\gamma) \end{pmatrix} \right]^2 + \\ & + k_{f5} \cdot \frac{1}{m_{\text{gn}}} \sum_{m_g=1}^{m_{\text{gn}}} \left(\sum_{R=0}^{R_m} a_R \cdot c_{fg} \cdot F(x_{mg}, y_{mg}, z_{mg}) \right)^2. \end{aligned} \quad (19)$$

Умови мінімуму для функціоналу δ_{Σ}

$$\frac{\partial \delta_{\Sigma}(R_0, R_1, R_2, \dots, R_m)}{\partial a_L} = 0, \quad (20)$$

де $a_L = a_{ijk}, L = i + (i_n + 1) \cdot j + (i_n + 1) \cdot (j_n + 1) \cdot k$.

При $0 \leq i \leq i_n, 0 \leq j \leq j_n, 0 \leq k \leq k_n, 0 \leq L \leq R_m$.

Таким чином, створюється система лінійних алгебраїчних рівнянь порядку R_m , кожне з яких має вигляд (21)

$$\begin{aligned} \sum_{R=0}^{R_m} a_R \cdot \left\{ \begin{aligned} & \frac{k_{f1}}{m_n} \sum_{m=1}^{m_n} (c_{ix} + c_{iy} + c_{iz}) \Big|_R \cdot (c_{ix} + c_{iy} + c_{iz}) \Big|_L + \\ & + \frac{k_{f3}}{m_{\text{sum}}} \sum_{m_n=1}^{m_{\text{sum}}} \begin{pmatrix} c_{fx} \cdot \cos(\alpha) + \\ + c_{fy} \cdot \cos(\beta) + \\ + c_{fz} \cdot \cos(\gamma) \end{pmatrix} \Big|_R \cdot \begin{pmatrix} c_{fx} \cdot \cos(\alpha) + \\ + c_{fy} \cdot \cos(\beta) + \\ + c_{fz} \cdot \cos(\gamma) \end{pmatrix} \Big|_L + \\ & + \frac{k_{f5}}{m_{\text{gn}}} \sum_{m_g=1}^{m_{\text{gn}}} c_{fg} \Big|_R \cdot c_{fg} \Big|_L \end{aligned} \right\} = \\ = \frac{k_{f5}}{m_{\text{gn}}} \sum_{m_g=1}^{m_{\text{gn}}} F(x_{mg}, y_{mg}, z_{mg}) \cdot c_{fg} \Big|_L. \end{aligned} \quad (21)$$

Використовуючи позначення R – індекс стовпця матриці і L – індекс рядка матриці, отримуємо вираження (22) для вектору правих частин $B(L)$ і (23) для коефіцієнтів матриці $A(L, R)$ системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Рішення отриманих систем лінійних алгебраїчних рівнянь здійснюється одним з прямих методів.

Пошук рішення у всій області ведеться шляхом ітераційної зшивання рішень одержуваних для кожної локальної області [7].

$$\sum_{R=0}^{R_m} a_R \cdot \left\{ \begin{aligned} & \frac{k_{f1}}{m_n} \sum_{m=1}^{m_n} (c_{lx} + c_{ly} + c_{lz}) \Big|_R \cdot (c_{lx} + c_{ly} + c_{lz}) \Big|_L + \\ & + \frac{k_{f2}}{m_{sm}} \sum_{m=1}^{m_{sm}} \left(\begin{array}{l} c_{fx} \cdot \cos(\alpha) + \\ + c_{fy} \cdot \cos(\beta) + \\ + c_{fz} \cdot \cos(\gamma) \end{array} \right) \Big|_R \cdot \left(\begin{array}{l} c_{fx} \cdot \cos(\alpha) + \\ + c_{fy} \cdot \cos(\beta) + \\ + c_{fz} \cdot \cos(\gamma) \end{array} \right) \Big|_L \\ & + \frac{k_{f5}}{m_{gn}} \sum_{m_g=1}^{m_{gn}} c_{fg} \Big|_R \cdot c_{fg} \Big|_L \end{aligned} \right\} + = \quad (22)$$

$$= \frac{k_{f5}}{m_{gn}} \sum_{m_g=1}^{m_{gn}} F(x_{mg}, y_{mg}, z_{mg}) \cdot c_{fg} \Big|_L$$

$$B(L) = \frac{k_{f5}}{m_{gn}} \sum_{m_g=1}^{m_{gn}} F(x_{mg}, y_{mg}, z_{mg}) \cdot c_{fg} \Big|_L \quad (23)$$

Рішення в області рідини поблизу корпусу судна і в зоні можливих переміщень вільної поверхні відносно її необуреного стану ($Z = 0$) знаходиться з використанням проєкційних методів, а в іншій області використовуються різницеві методи. У області різницевого рішення використовується центральна триточкова різницева апроксимація. Декомпозиція досліджуваної області показана на рис. 2.

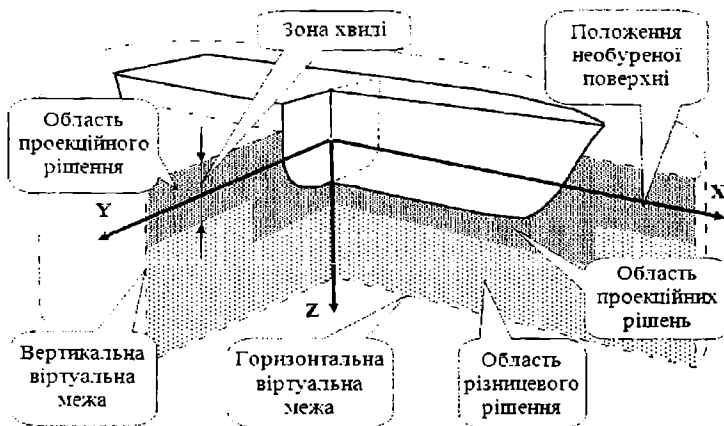


Рис. 2. Декомпозиція досліджуваної області

На видаленні від корпусу (5-10 характерних розмірів корпусу) призначаються віртуальні межі, що виділяють розрахункову область. На вертикальних віртуальних межах приймаються невідбиваючі граничні умови коли хвилі поширюються в нескінченному напівпросторі без відображення і поглинання [8]. На нижній віртуальній межі використовуються умови, що відповідають глибокій воді [3]. На поверхні корпусу, що ко-

ливається, використовуються звичайні граничні умови непротікання і прилипання.

Умова на нижній віртуальній межі розрахункової області повинна відбивати хитавицю на глибокій воді. В цьому випадку зазвичай використовується умова (24)

$$\lim_{z \rightarrow \infty} \text{grad}\Phi = 0. \quad (24)$$

Для нижньої віртуальної межі допустиме припущення, що амплітуда хвиль в рідині поблизу нижньої віртуальної межі зменшується з глибиною по експоненціальній залежності (25)

$$\Phi = B \cdot e^{-kz} \quad \text{або} \quad \Phi = A + B \cdot e^{-kz}. \quad (25)$$

При цьому параметри A , B , k відбивають реальний процес і залежать від координат граничного вузла. На практиці умови (25) відображаються у різницевій формі.

Для вертикальної віртуальної межі прийнято допущення [8], що зміна значення потенціалу Φ по осях X і Y далеко від корпусу відбивається гармонійною залежністю і описується рівняннями виду (26) або (27)

$$\Phi = B \cdot e^{-kz} \quad \text{або} \quad \Phi = A + B \cdot e^{-kz} \quad (26)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial L^2} + B \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial L} + A \cdot \Phi = 0, \quad (27)$$

де L – координатна вісь (X чи Y);

A , B – параметри, величини яких поблизу віртуальної вертикальної межі практично постійні. На практиці умови (26), (27) відображаються у різницевій формі.

Рівняння (26) зручно використати при рішенні плоских задач (визначення поля потенціалу Φ в площині Oyz або Oxz). Рівняння (27) орієнтоване на рішення задач в тривимірній постановці.

Слід зазначити, що при розглянутих математичних моделях значення коефіцієнтів A і B по напрямку осі Z практично не змінюються.

Гранична умова на вільній поверхні відображається у вигляді (28), (29)

$$\frac{\partial \Phi_s}{\partial t} + \frac{1}{2} \left(\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \Big|_s \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \Big|_s \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z} \Big|_s \right)^2 \right) - g \cdot h = 0, \quad (28)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial x} \Big|_s + \frac{\partial h}{\partial y} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial y} \Big|_s + \frac{\partial \Phi}{\partial z} \Big|_s = 0, \quad (29)$$

де h – відхилення поверхні рідини від положення рівноваги.

Значення потенціалу Φ і його похідних в (28) і (29) відповідають переміщенню вільної поверхні (індекс s).

Рішення (28) і (29) виконуються проекційним методом в локальних областях, що включають зони можливих переміщень необуреної поверхні.

При зшиванні рішень в локальних областях значення потенціалу (перетин a) і першої похідної по X (перетин b) одній локальній області (А) розглядаються як граничні значення для сусідньої (В).

Схема зшивання рішень в локальних областях А та В показана на рис. 3.

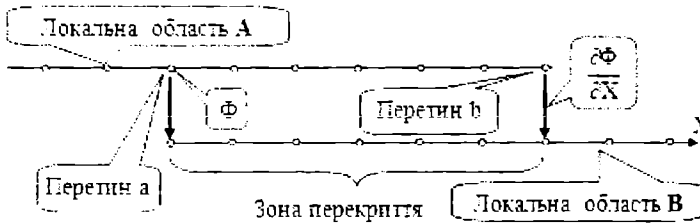


Рис. 3. Схема зшивки рішень у локальних областях

Аналогічно виконується зшивання рішень в локальних зонах і в області, де виконується рішення кінцево-різницевим методом.

Результати досліджень. Для оцінки ефективності пропонованого спільного використання проекційних і сіткових методів розглядався обчислювальний експеримент при дослідженні хитавиці корпусу корабля в нерухомій рідині [2].

Найдетальніше описані результати експериментів по вивченню вертикальних вимушених коливань зразка з прямокутним контуром.

Оскільки дані про результати експерименту були обмежені, порівняння результатів розрахунку і експерименту проводилося по ряду інтегральних показників таких як: коефіцієнти демпфування, приєднаних мас і відношення амплітуди генерованої хвилі до амплітуди вимушених коливань корпусу на глибокій воді. Розрахунок значень гідродинамічних коефіцієнтів хитавиці проводився аналогічно [2] з урахуванням явищ гідростатики. У випадку вертикальних коливань шпангоутного контура коефіцієнт приєднаної маси λ_{33} і коефіцієнт демпфування μ_{33} визначалися по формулах (30).

$$\lambda_{33} = -2 \cdot \rho \cdot \int_0^{B/2} \Phi_s(y, T) dy \tag{30}$$

$$\mu_{33} = -2 \cdot \rho \cdot \int_0^{B/2} \Phi_c(y, T) dy \cdot$$

Результати досліджень представлені на рис. 4 та рис. 5.

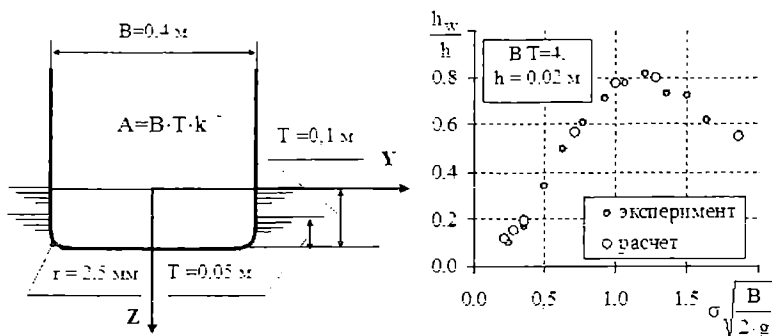


Рис. 4. Характеристики контуру, що коливається, і залежність амплітуди хвилі від частоти коливань контуру

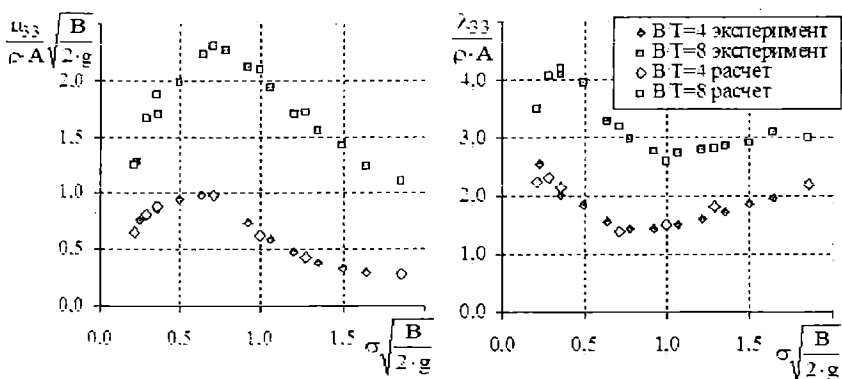


Рис. 5. Порівняння значень гідродинамічних коефіцієнтів хитаєвці

На рисунках використовуються наступні позначення:
 B , T – відповідно ширина і осадка корпусу;
 λ_{33} , μ_{33} – коефіцієнти приєднаної маси і демпфування шпангоутного контура;
 σ – задана частота коливань контура;
 h_w , h – відповідно амплітуди виникаючої хвилі і коливання контура.

Порівняння проводилося з результатами експерименту [2]. Відхилення не перевищували 5 %.

Як видно з рисунків спостерігається задовільне узгодження результатів фізичного експерименту і комп'ютерного моделювання з використанням розробленої методики.

Висновки. Запропоновані методики декомпозиції досліджуваної області, спільного використання проєкційних і різницевих методів та реалізації невідбиваючих граничних умов на віртуальних межах показали свою ефективність. Спостерігається задовільне узгодження результатів фізичного експерименту і комп'ютерного моделювання з використанням розроблених методик.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Басин А.М. Качка судов / А.М. Басин. – М.: Транспорт, 1969. – 272 с.
2. Vugts J.H. The hydrodynamic coefficients for swaying, heaving and rolling cylinders in a free surface / J.H. Vugts // *International Shipbuilding Progress*. – July 1968. – V.15. – № 167. – P. 251-276.
3. Воробьев Ю.Л. Потенциал скоростей при вертикальной качке плоского судна, плавающего без хода на глубокой воде / Ю.Л. Воробьев // *Актуальні проблеми теорії корабля. Проектування суден та їх конструкцій: Вісник Одеського державного морського університету*. – Одеса: ОДМУ, 1999. – № 3. – С. 3-19.
4. Воробьев Ю.Л. Гидродинамические задачи о качке прямо-бортных понтонов / Ю.Л. Воробьев, С.Н. Баскаков, И.Ф. Давыдов // *Вісник Одеського національного морського університету*. – Одеса: ОНМУ, 2002. – № 8. – С. 8-24.
5. Челабчи В.В. О вычислении некоторых интегралов, используемых в асимптотической теории качки / В.В. Челабчи // *Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць*. – Одеса: ОНМУ, 1999. – № 3. – С 73-77.
6. Merkt R.V. Projection approaching solving hydrodynamics problems / R.V. Merkt, V.N. Chelabchi // *Proceedings of the VI-th Congress of IMAM*. – Varna, Bulgaria, 1993. – P. 13-16.
7. Chelabchy V.V. Adapting of methods of a solution of applied problems to the distributed calculations. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: Зб. наук. праць. Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології»*. – Харків: НТУ «ХПИ», 2004. – № 1. – С. 15-23.
8. Ильгамов М.А. Неотражающие условия а границах расчетной области / М.А. Ильгамов, А.Н. Гильманов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

Стаття надійшла до редакції 24.12.2015

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, в.о.завідувача кафедри «Вища математика» Одеської національної академії харчових технологій
В.Х. Кирилов

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.В. Демідюк**

УДК 351.864:001.89

С.О. Нікул

МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ОБРИСУ ЗРАЗКА ОЗБРОЄННЯ

Запропоновано методика прогнозування обрису зразка озброєння, яка передбачає формування його якісних і кількісних характеристик.

Ключові слова: зразок озброєння, методика, обрис, прогнозування.

Предложена методика прогнозирования очертания образца вооружения, которая предусматривает формирование его качественных и количественных характеристик.

Ключевые слова: образец вооружения, методика, очертание, прогнозирование.

A method of predicting the outline of armament, which involves the formation of its quantitative and qualitative characteristics.

Keywords: like weapons, methods, outline, prediction.

Постановка проблеми. Аналіз розвитку та застосування озброєння та військової техніки за останні 20-30 років показує, що сучасна армія будь-якої держави повинна забезпечувати мобільність, швидке реагування на зміни в обстановці та забезпечення бойового застосування і ведення бойових операцій. Зразки озброєння і військової техніки, які знаходяться на озброєнні у Збройних Силах України не повною мірою відповідають сучасним вимогам. Досвід проведення антитерористичної операції на сході країни свідчить про необхідність розробки перспективних зразків озброєння (ЗО). У зв'язку з цим і виникає потреба прогнозування обрису ЗО на ранніх етапах розробки як об'єкта розвитку.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Основні світові тенденції розвитку озброєння і військової техніки розглянуті в статті [1]. В роботі [2] розглянута методика вибору оптимального ЗО. Деякі питання прогнозування розвитку ЗО розглянуті в [3]. Питання щодо формування структури властивостей перспективного зразка озброєння розглянуті у [6]. У вказаних роботах розкрито велике коло питань, але в цих джерелах відсутній підхід щодо прогнозування обрису ЗО на ранніх етапах розробки з урахуванням його якісних і кількісних характеристик.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є розроблення методики прогнозування обрису ЗО на ранніх етапах розробки. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити часткові завдання: розроблення алгоритму (схему прогнозування обрису ЗО) та його етапи, встановлення властивостей ЗО відповідно до особливостей ранніх етапів розробки.

© Нікул С.О., 2016

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. На ранніх етапах розробки ЗО потрібно виявляти відмінні особливості, які враховують динаміку розвитку його у всіх її суперечливих формах. Це дозволяє визначити ряд глобальних чинників, які впливають на якість ЗО, що розроблюється, і необхідних для початкової орієнтації та при безпосередньому прогнозуванні варіантів його обрису.

Завдання тактико-технічних вимог (ТТВ) до перспективного ЗО обумовлює розробку і застосування на практиці загальної ієрархічної структури його властивостей, яка є основою для майбутнього обрису ЗО.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Розробка методики прогнозування обрису ЗО передбачає формування його якісних і кількісних характеристик. При цьому необхідно враховувати, що ЗО може бути частиною більш складної системи озброєння.

Основу алгоритму методики виділимо відповідно до схеми прогнозування обрису ЗО (рис.1). Вона включає наступні етапи:

1. Інформаційне забезпечення прогнозних досліджень (аналіз існуючого рівня, закономірностей та основних напрямів розвитку ЗО, етап I).

2. Операційно-параметричний аналіз, який містить:

- аналіз операційних параметрів (АОП);
- операційно-функціональний аналіз (ОФА);
- функціонально-структурний аналіз (ФСА);
- функціонально-параметричний аналіз (ФПА);
- структурно-параметричний аналіз (СПА), (етап II).

3. Опис ЗО, як системно-структурного утвору (етап III).

4. Формування і оцінка властивостей об'єкту прогнозування (етап IV).

5. Формування переважних варіантів об'єкту прогнозування (етап V).

6. Прогнозування основних характеристик переважних варіантів.

7. Прогнозування розвитку принципів схем елементної бази переважних варіантів, уточнення прогнозних тактико-технічних характеристик і обрису кращих варіантів (етап VI).

Інформаційне забезпечення прогнозних досліджень передбачає аналіз існуючого рівня та основних напрямів розвитку ЗО. Воно проводиться в наступному порядку: формування завдань об'єкту прогнозування (блок 1) (рис.1), аналіз функцій існуючих об'єктів-прототипів і їх змін (блок 2), розгляд існуючих типів елементів і підсистем (блок 3), системогенетичний аналіз з подальшим виявленням особливостей розвитку базових структур (блоки 4, 5), встановлення основних напрямів розвитку та протиріч базових структур (блоки 6, 7). При цьому формується масив основних конструктивних і технічних характеристик (блок 8).

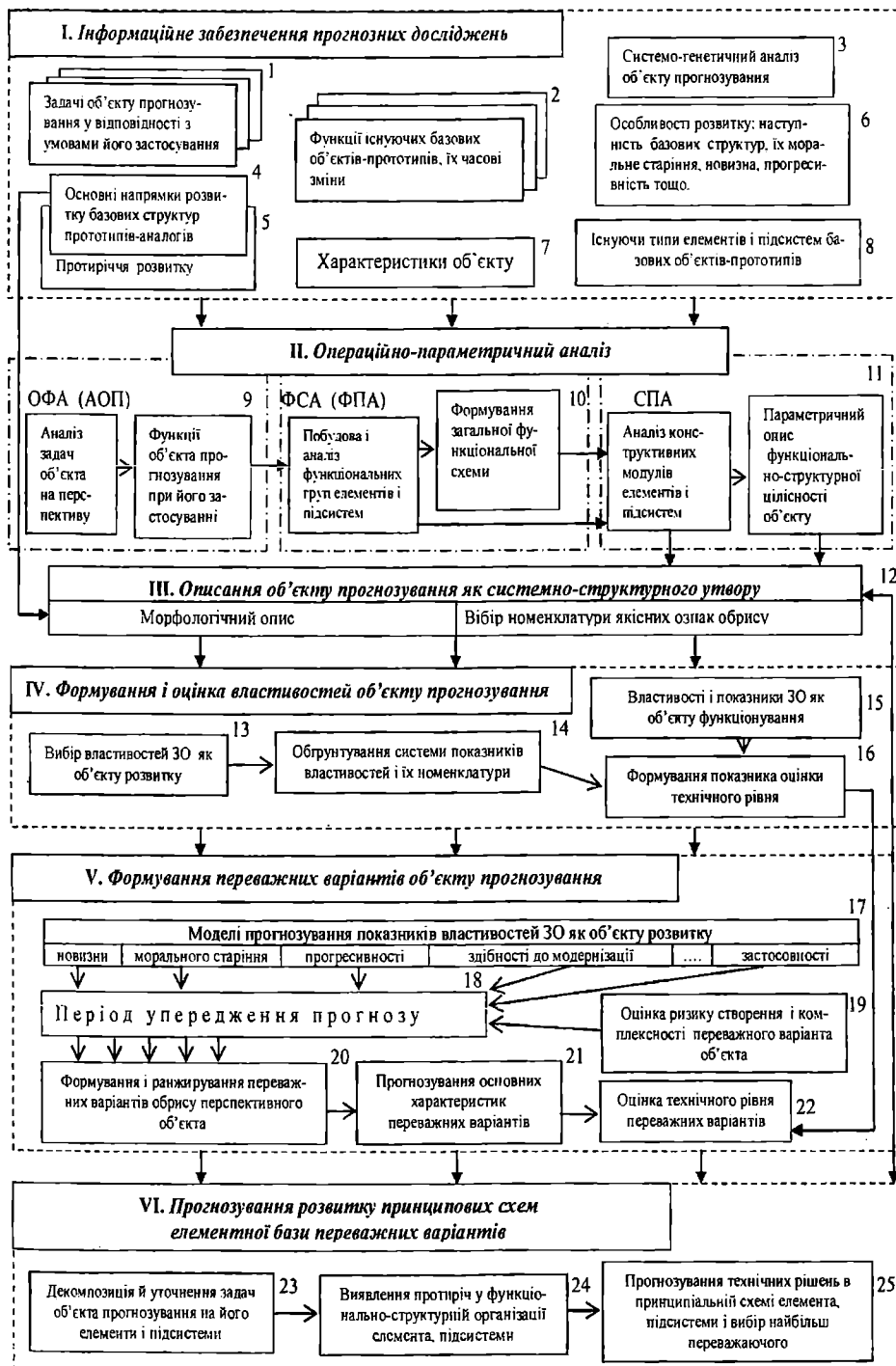


Рис. 1. Схема прогнозування об'єкту 3D

Операційно-параметричний аналіз ЗО складається з ОФА (блок 9), ФСА (блок 10) і ПА. Параметричний аналіз (ПА), поданий головною його частиною – СПА (блок 11). Він проводиться на основі аналізу проектних залежностей визначальних параметрів ЗО і виявлення їх зв'язків з його обрисом.

Керуючись суб'єктивними уявленнями експерта про предмет дослідження і відносинами еквівалентності, розроблена модель класифікації основних елементів і підсистем ЗО (якісних ознак) відповідно до його властивостей (параметрів). Решта складових ПА (АОП і ФПА) розглядаються паралельно з ОФА і ФСА. Опис об'єкту прогнозування як системно-структурного утвору (блок 12). Опис зовнішності ЗО пов'язано, насамперед, з невизначеністю вихідних даних. На етапі інформаційного забезпечення прогнозних досліджень проводиться детальний аналіз і опис відомих ЗО. При цьому розробляються дані по формуванню якісних характеристик (ЯХ) ЗО, або проводиться його морфологічний опис, а потім і якісний опис. Враховуючи, що ЗО може мати досить великий за обсягом опис, необхідно обирати тільки ті його елементи, які найбільш схильні до зміни. Тому розроблена модель вибору номенклатури якісних ознак (ЯО) обрисув зразка АО. Данні, отримані за цією моделлю, дозволяють побудувати морфологічний простір обрисув прогнозованого зразка АО, де відображаються результати структурно-параметричного аналізу.

В ході опису ЗО як системно-структурного утвору використовувалися ЯО і ЯХ обрисув. При цьому кожній ЯО (за кількістю основних елементів і блоків), відповідає сукупність ЯХ (які в свою чергу описують елемент, блок).

Для формування та оцінки кращих варіантів ЗО необхідно встановити його властивості відповідно до особливостей ранніх етапів розробки, аналіз яких наданий в [4].

Формування та оцінка властивостей ЗО (етап IV) включають вибір його властивостей як об'єкта розвитку (блок 13), обґрунтування системи показників цих властивостей і їх номенклатури (блок 14). На основі цих показників надалі на етапі V формуються бажані варіанти перспективного ЗО, які надалі оцінюються за сукупністю його показників як об'єкта функціонування за допомогою комплексного показника технічного рівня (блок 16). Тому на даному етапі так само враховуються властивості ЗО як об'єкта функціонування (блок 15).

Для вирішення конкретної задачі прогнозування обрисув ЗО часто використовуються не всі показники. Практика показує [5], що для короткострокового прогнозу використовуються гнучке реагування, перспективність і ризик. Середньостроковий прогноз передбачає використання показників перспективності, морального старіння, вживаності і ризику, а довгостроковий і довгостроковий – новизни, прогресивності, морального старіння, здатності до модернізації, комплексності та ризику [6]. Довгостроковий прогноз, крім того, обов'язково супроводжується застосуванням методики прогнозування обрисув ЗО. Тут необхідно зазначити, що на

ранніх етапах розробки, насамперед, проводять довгостроковий прогноз. За сукупністю зазначених вище показників оцінюється елементна база ЗО. Оцінка проводиться, як правило, на основі узагальненого показника вигляду

$$M_{ij} = \prod_{s=1}^{n_s} K_s^{ij}, \quad (1)$$

де K_s^{ij} – компоненти (показники), що відображають s -у властивість для i -го елемента, підсистеми ЗО з j -м типом (j -а ЯХ обрис);

n_p – кількість показників ЗО як об'єкта розвитку.

Генерування безлічі кращих варіантів обриса (етап V) включає в себе уточнення морфології прогнозованого об'єкта, розрахунок показників переваги варіантів і безпосереднє формування їх переважної сукупності.

Уточнення морфології прогнозованого об'єкта виконується на основі інформаційного забезпечення: систематизації, огляду і аналізу всієї сукупності функціональних підсистем, елементів і підсистем, обмеженої структурними характеристиками. Морфологічний простір поповнюється за рахунок генерування ЯХ обриса, отриманих у ході прогнозування технічних рішень.

Корисність (перспективність) визначається за формулою

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} r_{ij}}{m \sum_{i=1}^{i=m} \varphi(x_i)}, \quad (2)$$

де $r_{ij} = r_j \varphi(x_i)$ – зважена оцінка позиції з урахуванням вагової функції $\varphi(x_i)$;

$i = \overline{1, n}$ – номер характеристики, що співпадає з номером рядка;

$j = \overline{1, m}$ – номер позиції в характеристиці, що співпадає з номером стовпця;

r_j – вихідна оцінка позиції в балах, дорівнює номеру стовпця в матриці універсального ідентифікатора.

Оцінкою морального старіння ЗО є ймовірність того, що він не застаріє щодо зразка-наступника, а саме визначається ймовірність того, що j -й тип i -го елемента (підсистеми) ЗО не застаріє.

$$P_{oi}^{ij} = \frac{1}{n_{ij}} \sum_{i_1=1}^{n_{ij}} P_{oi_1}^{ij}, \quad (3)$$

де n_{ij} – кількість зразків с j -м типом i -го елемента;

$P_{oi_1}^{ij}$ – ймовірність того, що зразок, який має j -й тип i -го елемента, морально не застаріє.

Таким чином, використовуючи розраховані показники і відповідний морфологічний простір обрису прогнозованого ЗО, на основі методу морфологічного синтезу формуються кращі варіанти, які надалі оцінюються показниками здібності до модернізації, комплексності та ризику створення. Остаточний вибір кращих варіантів перспективного ЗО виконується за критерієм

$$S_i = M_i \cdot r_{ком}^i \cdot (1 - P_i(t)) \cdot M_{мд}^i, \quad (4)$$

де M_i – показник i -го кращого варіанту, отриманий після морфологічного синтезу на основі використання оцінок морального старіння, прогресивності, новизни та ін.;

$r_{ком}^i$ – нормована характеристика комплексності i -го переважного варіанту;

$P_i(t)$ – ймовірність несприятливого результату по створенню i -го переважного варіанту;

$M_{мд}^i$ – показник здібності до модернізації.

Безпосереднє формування варіантів обрису ЗО передбачає сукупність операцій пошуку на морфологічному просторі, яке описується розрахунковими значеннями показників переваги, варіантів опису зовнішності ЗО, що відповідають умовам задачі прогнозування. Пошук кращих варіантів, як правило, здійснюється на основі морфологічного синтезу, який дає можливість повного перебору всіх рішень. Це призводить до труднощів обчислюваного порядку, так як комбінаторний процес розростається в геометричній прогресії.

Прогнозування основних характеристик переважних варіантів (етап V) виконується за результатами структурно-параметричного аналізу. При цьому виділяються характеристики, які пов'язані із зовнішністю зразка АО.

При прогнозуванні розвитку принципів схем елементної бази кращих варіантів, уточненні їх прогнозних ТТХ і обрису (етап VI), виділяються наступні основні блоки: декомпозиція та уточнення завдань об'єкта прогнозування на його елементи і підсистеми 23, виявлення суперечностей у їх функціонально-структурній організації 24 і прогнозування технічних рішень в принциповій схемі елемента, підсистеми і вибір найбільш переважного 25. Відповідно до цього розроблено методичний апарат прогнозування обрису елементної бази ЗО. Суть його полягає в пошуку нових технічних рішень на рівні винаходу, після чого серед них вибираються найбільш значущі за сукупності запропонованих критеріїв. Крім того, він дозволяє не тільки уточнити обрис ЗО і його характеристики, а й значно розширити морфологічний простір перспективного ЗО за рахунок розробки технічних рішень, що визначають новий тип його елементів, підсистем.

Висновки. Таким чином, запропонована методика дає можливість прогнозувати обрис ЗО з врахуванням його як об'єкта розвитку, як системно-структурного утворення і як об'єкта функціонування. Спочатку формуються переважні варіанти обрису на основі виявлених властивостей та їх показників ЗО як об'єкта розвитку з наступним описом цих варіантів. Потім прогноуються ТТХ кращих варіантів, які характеризують їх технічну досконалість і функціональні можливості.

Перспективи подальших досліджень. Метою подальших досліджень є розробка методики прогнозування обрису ЗО, який функціонує на нетрадиційних принципах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Василенко О.В. Основні світові тенденції розвитку озброєння та військової техніки для ведення війн у майбутньому / О.В. Василенко // *Наука і оборона*. – 2009. – № 4. – С. 18-23.
2. Харченко О.В. Методика вибору оптимального зразка авіаційної техніки для переозброєння Збройних Сил України / О.В. Харченко, С. І. Леженін, В.О. Чадюк // *Наука і оборона*. – 2009. – № 4. – С. 35-39.
3. Мартыщенко Л.А. Инновационная модель прогнозирования развития образцов ракетного вооружения / Л.А. Мартыщенко, А.Е. Филкостин и др. // *Оборонная техника*. – 1987. – № 3. – С. 23-28.
4. Андріянов Ю.М. Кваліметрія в приборостроєнні і машиностроєнні / Ю.М. Андріянов, А.И. Субетто. – Л.: Машиностроєніє, 1990. – 216 с.
5. Амбарцумян К.А. Методы оптимизации качества, надёжности и эффективности процессов создания и освоения новой продукции / К.А. Амбарцумян. – М.: Знание, 1986. – 350 с.
6. Нікул С.О. Формування структури властивостей перспективного зразка озброєння / С.О. Нікул // *Зб. наук. праць Військової академії (м. Одеса)*. – 2015. – Вип. № 2(4). – С. 70-77.

Стаття надійшла до редакції 21.12.2015

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи Одеського національного морського університету
А.В. Шахов

завідувач кафедри «Електротехніка та системи ракетно-артилерійського озброєння» Військової академії (м. Одеса) **В.Ф. Миргород**

УДК 629.7.067

А.В. Андреев, А.С. Бычков, А.В. Кондратьев

**ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ТРАНСПОРТНОЙ
КАТЕГОРИИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.
ЧАСТЬ 1. ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Сформулирована общая постановка проблемы сохранения эксплуатационной несущей способности конструкций отечественных и зарубежных воздушных судов из полимерных композиционных материалов.

Показано перманентное увеличение объемов применения композитов в конструкциях отечественных и зарубежных воздушных судов, установлены основные факторы потенциального снижения их эксплуатационной несущей способности.

Ключевые слова: эксплуатационная несущая способность, воздушные суда транспортной категории, конструкции из полимерных композиционных материалов, характер эксплуатационных повреждений.

Сформульована загальна постановка проблеми збереження експлуатаційної несучої здатності конструкцій вітчизняних і зарубіжних повітряних суден з полімерних композиційних матеріалів.

Показано перманентне збільшення обсягів застосування композитів в конструкціях вітчизняних і зарубіжних повітряних суден, встановлено основні фактори потенційного зниження їх експлуатаційної несучої здатності.

Ключові слова: експлуатаційна несуча здатність, повітряні судна транспортної категорії, конструкції з полімерних композиційних матеріалів, характер експлуатаційних пошкоджень.

A general formulation of the problem of preserving the operational capacity of the carrier structures of domestic and foreign aircraft from polymeric composite materials.

Displaying a permanent increase in the use of component-positis in the construction of domestic and foreign aircraft, installed the main factors reduce the potential of their former serviceability bearing capacity.

Keywords: operational bearing capacity, WHO stuffy court-transport category designs from polymeric composite materials, nature of the operation in damage.

Постановка проблемы. В [9] получил развитие новый аспект взаимосвязи юридически-правовой поддержки жизненного цикла отечественной авиационной техники с проблемами обеспечения безопасности конструкций воздушных судов на стадии их проектирования, производства и эксплуатации. В этой же работе намечены пути дальнейшего поэтапного решения сформулированной проблемы.

В порядке начальных шагов в этом направлении был проведен углубленный анализ основных видов и причин разрушения в эксплуатации конструктивных элементов отечественных воздушных судов транспортной категории агрегатов из алюминиевых сплавов [13], стальных деталей [10], а также конструкций из титановых сплавов [12].

Анализ материального баланса планера отечественных и зарубежных самолетов, проведенный в [9] по ряду источников [8; 15] показал, что наряду со снижением относительного объема применения алюминиевых сплавов и стали и заметным ростом объема титановых сплавов существенно увеличивается относительная доля полимерных композиционных материалов (ПКМ), причем в первую очередь в узлах и агрегатах, определяющих несущую способность и ресурс воздушных судов: крыла, фюзеляжа, оперения и планера в целом [1; 7; 16; 20].

В связи с этим в [9] отмечается принципиальная необходимость проведения анализа влияния основных факторов эксплуатационного разрушения конструкций воздушных судов из ПКМ с учетом их отличительных особенностей.

Целью статьи проведение углубленного анализа основных видов и причин разрушения конструкций из ПКМ на основе отечественного и зарубежного опыта их эксплуатации.

Изложение основного материала. Как показано в [9], основными причинами, вызывающими эксплуатационные разрушения авиационной техники из металлов являются:

- человеческий фактор;
- усталость;
- износ;
- коррозия.

В [19] отмечается, что основными (но не единственными) факторами, принципиально снижающими несущую способность конструкции воздушного судна в процессе его эксплуатации, являются:

- усталость;
- коррозия.
- случайные эксплуатационные повреждения.

Обращает на себя внимание отсутствие в этой классификации факторов «износ» и «человеческий фактор»¹⁾. В то же время в понятие человеческого фактора входит «все то, что связано в любых процессах с человеком как субъектом деятельности» [6].

В этой трактовке к «человеческому фактору» следует отнести и ошибки субъекта на любом этапе или в любом процессе жизненного цикла воздушного судна, а также условия эксплуатации (т. е. случайные механические (ударные) повреждения и климатические (удары молнии, термовлажностные воздействия и др.), что включают авторы [19] в понятие

¹⁾ Это отсутствие в определенной степени может быть оправдано оговоркой авторов [11] о том, что приводится классификация основных, но не единственных факторов

случайные эксплуатационные повреждения. Таким образом, можно случайные эксплуатационные повреждения отнести к частной составляющей человеческого фактора.

Относительно более частые и возникающие на ранних стадиях эксплуатации разрушения конструкции элементов воздушного судна, в том числе и композитных, как правило, имеют первопричиной человеческий фактор в его различных проявлениях.

Примером сказанного выше являются:

- вырыв створки основной опоры шасси самолета Ан-148 (ГТК «Россия»), произошедший вследствие двукратного выпуска и уборки шасси на малой высоте с целью проверки причины отсутствия в кабине пилотов индикации замков убранного положения створок (см. рисунок 1);

- вырыв потоком воздуха во время полета верхней части панели под центропланом самолета Ан-148 вследствие неплотного прилегания панели к фюзеляжу (см. рисунок 2);

- вырыв лючка переднего левого обтекателя шасси пульта управления заправки топливом на самолете Ан-178 во время полета по причине неполного закрепления замков (см. рисунок 3);

- механическое повреждение во время эксплуатации самолета Ан-148 композитной облицовки проема багажного отсека (см. рисунок 4).

Примеры аналогичных эксплуатационных повреждений конструкций из ПКМ можно было бы продолжить.

Отсутствие в классификации авторов [19] износа может быть связано с нехарактерными с точки зрения авторов [19] для деталей и узлов воздушного судна эксплуатационными воздействиями, определяющих изнашивание как «процесс разрушения поверхностных слоев твердого тела при механическом воздействии на него другого твердого тела или среды» [18].

Сравнивая далее классификации основных факторов эксплуатационного разрушения воздушных судов, приведенных в работах [9] и [19] применительно к конструкциям из ПКМ, можно констатировать их практическую идентичность.

Кроме отмеченной выше аналогии, касающейся человеческого фактора и фактора случайных эксплуатационных повреждений, следует отметить и близость фактора «коррозия» к фактору «деструкция», характерному для ПКМ. Действительно, по определению [6] «деструкция – нарушение или полное разрушение структуры вещества» (для ПКМ – связующего), а «коррозия – разрушение металлов и некоторых других твердых тел (связующего ПКМ), вызываемое химическими и электрохимическими процессами (внешняя среда, фреттинг-коррозия в паре «углепластик – алюминий») – результат этих процессов».

После сделанных замечаний можно перейти к углубленному анализу проблемы зависимости несущей способности конструкций воздушных судов из ПКМ от основных факторов эксплуатационного разрушения.

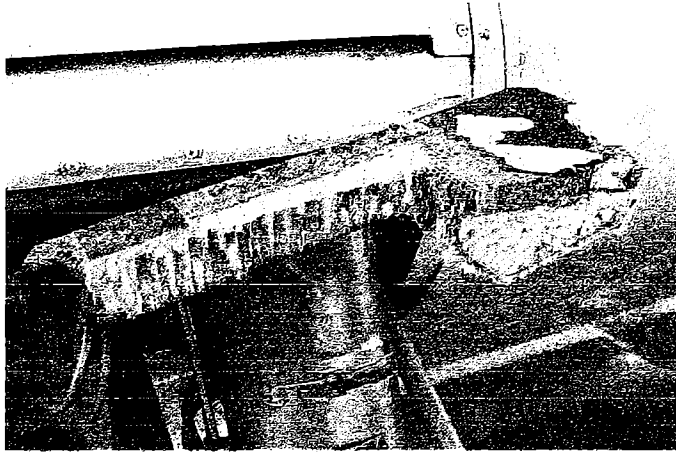


Рис. 1. Вырыв створки основной опоры шасси самолета Ан-148

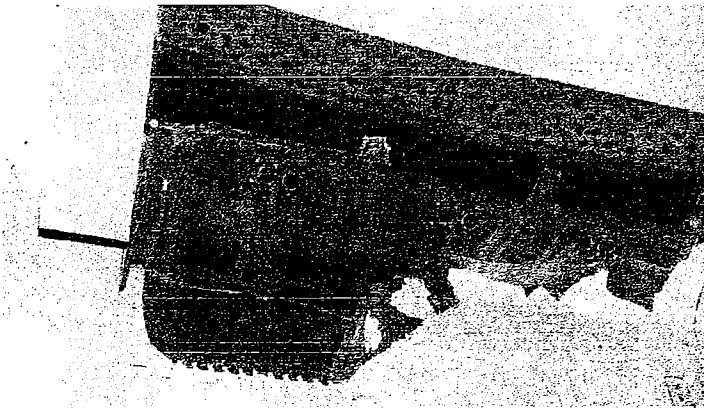


Рис. 2. Вырыв верхней части панели под центропланом самолета Ан-148



Рис. 3. Вырыв лочка переднего левого обтекателя шасси пульта управления заправки топливом на самолете Ан-178



Рис. 4. Механическое повреждение композитной облицовки проема багажного отсека во время эксплуатации самолета Ан-148

Применение ПКМ в гражданских самолетах транспортной категории, начавшееся в конце 50-х-начале 60-х годов прошлого столетия в весьма ограниченных объемах, во всем мире непрерывно продолжается в увеличивающихся масштабах, достигнув в настоящее время 50 % и более от массы планера, стимулируемое значительным ее снижением благодаря высоким удельным характеристикам прочности и жесткости композитов [16].

На рисунке 5 приведена сводная иллюстрация мест и объемов применения ПКМ в самолетах ГП «Антонов», а на рисунке 6 (для примера) – использование композитов в конструкции самолета Ан-70.

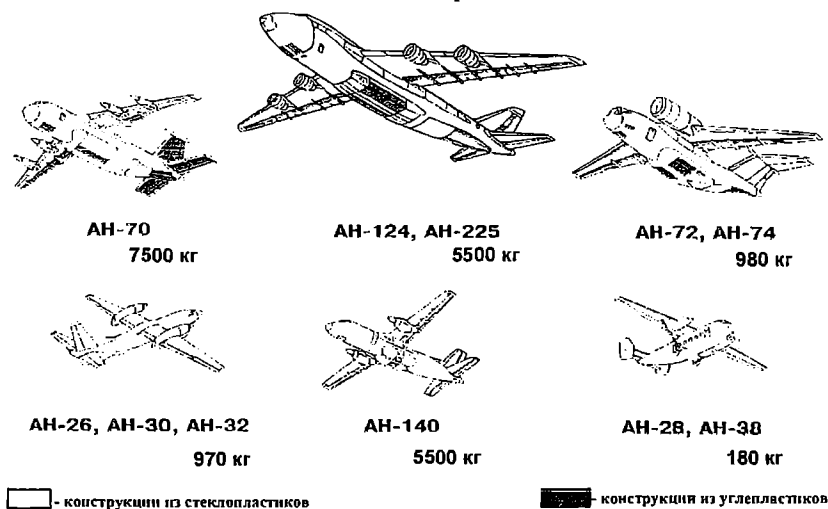


Рис. 5. Сводная иллюстрация мест и объемов применения ПКМ в самолетах фирмы «Антонов»

Данные, аналогичные содержащимся в [16], можно было бы привести и по применению ПКМ в зарубежных самолетах [2; 4; 7; 16; 20-23].

Эффективность применения ПКМ, начиная со стеклопластиков в отечественных самолетах, отмечалась еще в 1975 г. О.К. Антоновым [3], а затем в работах [5; 11; 14; 16] и др.

Но в этих и других работах весьма слабо освещены аспекты влияния основных факторов, вызывающих эксплуатационные разрушения, отмеченные выше. Так в [4] приведена информация об эффективности применения ПКМ в самолетах ГП «Антонов» (см. рисунок 7).

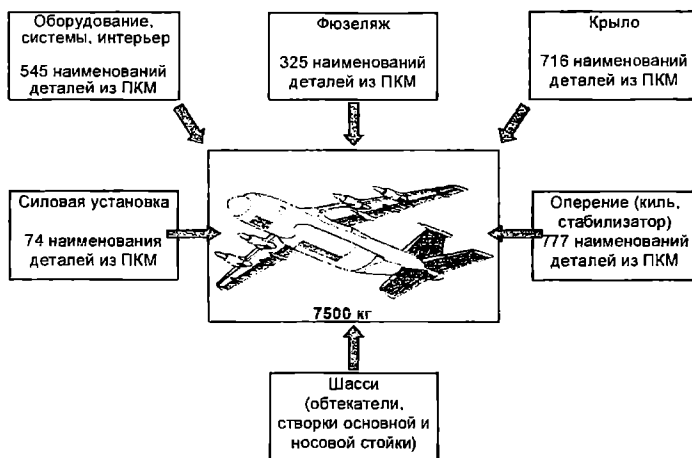
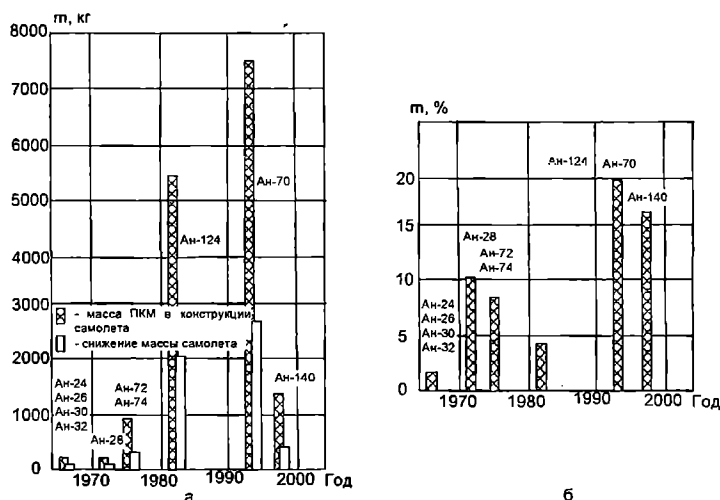


Рис. 6. Использование полимерных композиционных материалов в конструкции самолета Ан-70



*Рис. 7. Эффективность применения ПКМ в самолетах типа Ан:
 а – абсолютная масса ПКМ и снижение массы самолета;
 б – масса конструкций из ПКМ в процентах от общей*

Выводы

1. Показано, что перманентное увеличение объемов применения ПКМ в отечественных и зарубежных воздушных судах транспортной категории обусловлено подтвержденной мировой практикой высокой весовой и экономической эффективностью их эксплуатации.

2. Установлено, что основными факторами, потенциально снижающими несущую способность композитных конструкций воздушного судна в процессе его эксплуатации, являются, как и в их аналогах из металлов, усталость, специфическая коррозия, а также случайные повреждения, в значительной степени предопределяемые субъектами деятельности (человеческим фактором).

3. В связи с этим представляется необходимым проведение углубленного анализа доступной информации по отечественным и зарубежным воздушным судам видов и характера эксплуатационных повреждений, их частоты проявления и взаимосвязи с технологическими дефектами, возникающими в процессе производства этих изделий.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аверичкин П.А. *Методология применения и оценка эффективности использования композиционных материалов в авиационной технике [Текст]* / П.А. Аверичкин. – Ярославль: И. ЯГСХА, 1999. – 306 с.
2. Андреев А.В. *Современные конструктивно-технологические решения агрегатов авиаконструкций из полимерных композиционных материалов и их реализация на предприятиях Stelia Aerospace [Текст]* / А.В. Андреев, Я.О. Головченко, А.А. Коцюба // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. научн. трудов Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»*. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2015. – Вып. 4 (84). – С. 95-104.
3. Антонов О.К. *Композиційні матеріали для авіабудування [Текст]* / О.К. Антонов // *Вісник АН УРСР*. – 1975. – № 12. – С. 68-71.
4. Астанін В.В. *Композиційні матеріали в конструкціях сучасних літальних апаратів [Текст]* / В.В. Астанін, А.В. Хоменко, О.А. Шевченко // *Вісник НАУ*. – 2004. – № 3. – С. 46-52.
5. Балабуев П.В. *Опыт применения композиционных материалов в транспортной авиации [Текст]* / П.В. Балабуев // *Авиационная промышленность*. – 1986. – № 9. – С. 9-14.
6. *Большой толковый словарь русского языка [Текст]* / Гл. ред. С.А. Кузнецов. – СПб.: Норинт, 2001. – 1536 с.
7. Братухин А.Г. *Авиационные конструкции из композиционных материалов [Текст]* / А.Г. Братухин, А.Г. Ромашин // *Вестник машиностроения*. – 1999. – № 11. – С. 30-36.

8. Буланов И.М. *Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учебник [Текст] / И.М. Буланов, В.В. Воробей. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.*
9. Бычков А.С. *О взаимосвязи юридически-правовой поддержки жизненного цикла воздушных судов и проблемы обеспечения безопасности их конструкций [Текст] / А.С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. научн. трудов Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 4 (84). – Х., 2015. – С. 79-85.*
10. Бычков А.С. *Основные виды и причины разрушения стальных деталей агрегатов отечественных воздушных судов транспортной категории [Текст] / А.С. Бычков, А.Г. Моляр // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. научн. трудов Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Х.: НАКУ «ХАИ», 2016. – Вып. 1 (85).*
11. Бычков С.А. *Решение проблемы создания авиаконструкций из полимерных композиционных материалов на АНТК «Антонов» [Текст] / С.А. Бычков, В.Г. Бондарь, В.Н. Король // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Наук.-техн. журнал. – Х.: ХАІ, 2003. – Вип. 49 (5). – С. 34-37.*
12. Бычков А.С. *Эксплуатационная несущая способность деталей конструкций отечественных воздушных судов транспортной категории из титановых сплавов [Текст] / А.С. Бычков, А.Г. Моляр // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. научн. трудов Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Х.: НАКУ «ХАИ», 2016. – Вып. 71.*
13. Бычков А.С. *Основные причины разрушения конструктивных элементов воздушных судов транспортной категории из алюминиевых сплавов [Текст] / А.С. Бычков, И.Р. Игнатович, А.Г. Моляр // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. научн. трудов. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». – Х.: НАКУ «ХАИ», 2015. – Вып. 70. – С. 136-151.*
14. Гвоздев М.А. *Прогнозирование технически возможного объема внедрения полимерных композиционных материалов в конструкциях самолетов [Текст] / М.А. Гвоздев, А.В. Кондратьев // Технологические системы: Научн.-технич. журнал. – К., 2016. – № 1.*

15. Гришин В.И. Прочность и устойчивость элементов и соединений авиационных конструкций из композитов [Текст] / В.И. Гришин, А.С. Дзюба, Ю.И. Дударьков. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 2013. – 272 с.
16. Кива Д.С. Этапы становления и начала развернутого применения полимерных композиционных материалов в авиаконструкциях отечественного назначения [Текст] / Д.С. Кива // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 6 (113). – С. 5-16.
17. Создание агрегатов самолетов из композиционных материалов – новые подходы, интегральные решения [Текст] / В.Н. Король, А.З. Двейрин, Е.Т. Василевский, В.С. Петропольский и др. // *Технологические системы: Научн.-технич. журнал*. – К., 2011. – № 4. – С. 32-35.
18. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 527 с.
19. Фейгенбаум Ю.М. Влияние случайных эксплуатационных повреждений на прочность и ресурс конструкции воздушных судов [Текст] / Ю.М. Фейгенбаум, С.В. Дубинский // *Научный вестник МГТУГА*. – № 187. – 2013. – С. 83-91.
20. Шушпанов М.И. Опыт применения конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) в производстве самолетов Ил-96 [Текст] / М.И. Шушпанов, В.А. Соловьев // *Межвузовский сб. научн. трудов Воронеж. гос. техн. ун-та*. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1999. – С. 18-23.
21. Anglin J.M. Application of composites in commercial aircraft abound [Текст] / J.M. Anglin // *ICAO Bulletin*. – Vol. 41. – 1986. – P. 14-17.
22. Beral B. A-350XWB Structures: A major Step forward for Composite Application [Текст] / B. Beral // *SAMPE EUROPE Technical Conference & «Table-Top», Exhibition 2008 (SETIC 03/-08)*. – 18-19 September. – 2008. – Augsburg, Germany. – 2008. – P. 124-134.
23. COMPOSITE: 21 century. – М.: Издательский дом «Композиты XXI век», 2011. – 64 с.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2016

Рецензент – доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки та техніки України, Лауреат Державної премії України
В.Є. Гайдачук

УДК 004.732.629.5-52

В.В. Вычужанин, Н.О. Шibaева

**МЕТОД СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК
СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ
СУДОВЫХ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В статье приведены результаты разработки метода структурной многопараметрической и многокритериальной оптимизации характеристик системы дистанционного мониторинга и диагностики судовых сложных технических систем. Изложены рекомендации по возможному решению многокритериальной задачи оптимизации.

Ключевые слова: судовые сложные технические системы, мониторинг, диагностика, системы передачи данных.

У статті наведено результати розробки метода структурної багатопараметричної та багатокритеріальної оптимізації характеристик системи дистанційного моніторингу та діагностики судових складних технічних систем. Викладено рекомендації по можливому рішенню багатокритеріальної задачі оптимізації.

Ключові слова: суднові складні технічні системи, моніторинг, діагностика, системи передачі даних.

The results of the structural development of the method of multi-parameter and multi-criteria optimization of remote monitoring system performance and diagnostics of ship complex technical systems. The recommendations on possible solution of multiobjective optimization problem.

Keywords: marine complex technical systems, monitoring, diagnostics, data transmission systems.

Введение. Специфика функционирования судов связана с наличием десятков разнообразных сложных технических систем (СТС), а также многообразием используемого программного обеспечения для построения информационных систем мониторинга и необходимостью регулярной передачи больших объемов разнотипных данных между удаленными службами, обеспечивающими управление СТС.

В настоящее время владельцы судоходных компаний активно внедряют на принадлежащих им судах системы дистанционного мониторинга и диагностики (ДМД) параметров, характеризующих эксплуатационные свойства СТС. Для обеспечения при ДМД устойчивой связи с береговыми службами используются бортовые комплексы передачи данных в реальном времени через подвижную спутниковую связь (ПСС) (рис. 1), например ИНМАРСАТ, ИРИДИУМ, ГЛОБАЛСТАР, ОРБКОМ и др. или через наземную стационарную станцию (СТ) (рис. 2) [1; 2; 3].

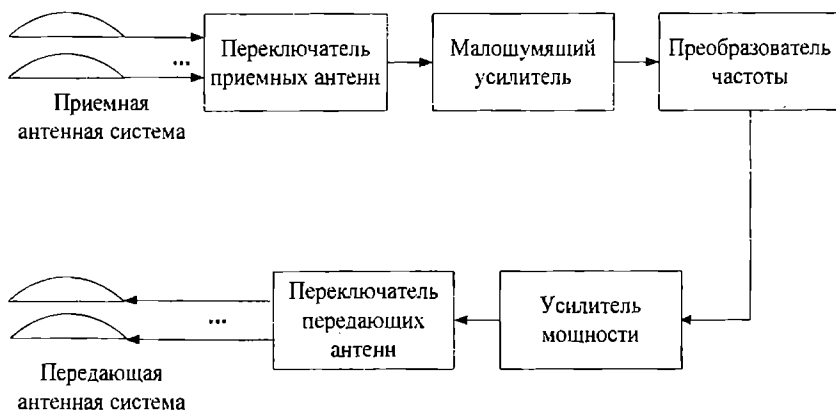


Рис. 1. Упрощенная структурная схема РСС

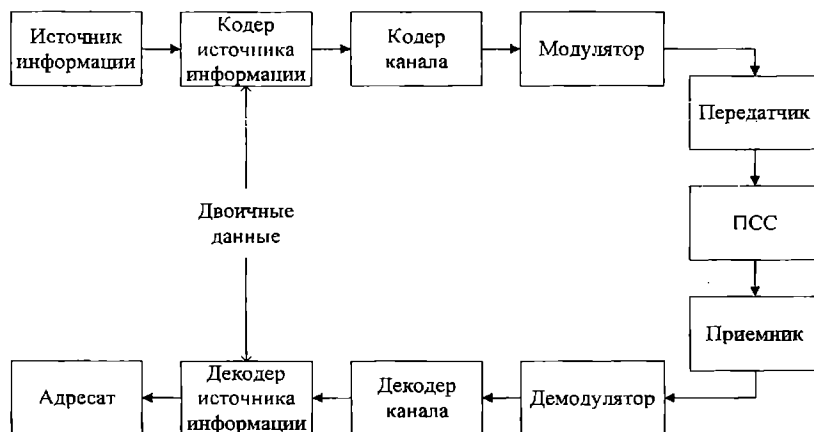


Рис. 2. Обобщенная структурная схема системы ДМД судовыми СТС

Бортовые комплексы ДМД на судне связаны с автоматизированным рабочим местом (АРМ), через локальные сети, систему РСС или через наземную СТ сеть Интернет.

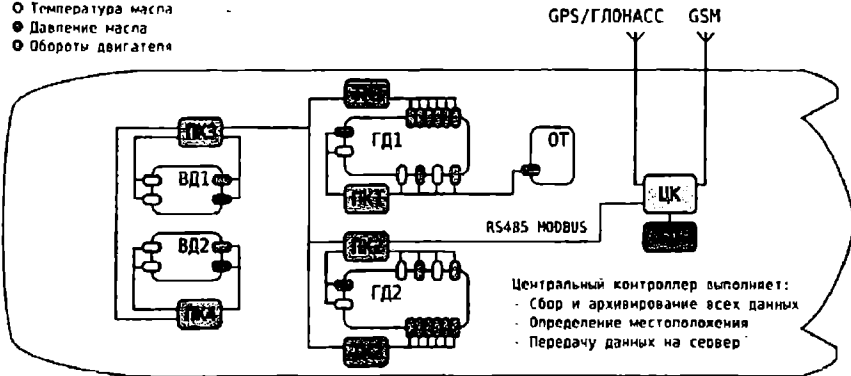
Примером реальной системы ДМД судовыми СТС является контрольно-диагностический комплекс «Портал-Дон-02» (рис. 3), включающий центральный контроллер, панель оператора, антенный приемник сигналов GPS/ГЛОНАСС, антенную GSM-связь.

В известных системах ДМД принятие управленческих решений при возникновении нештатных ситуаций часто основывается на использовании документации, объем которой и правила ее применения не обеспечивают оперативного получения оценок протекающих процессов в СТС, выполняемых с упреждением по отношению к результатам возникших нештатных ситуаций.

Размещение комплекса на судне

Периферийные контроллеры ПК1 и ПК2 регистрируют параметры:

- Расход топлива главного двигателя
- Температура охлаждающей жидкости
- Температура масла
- Давление масла
- Обороты двигателя



Периферийные контроллеры ПК3 и ПК4 регистрируют параметры:

- Расход топлива вспомогательного двигателя
- Температура охлаждающей жидкости
- Температура масла
- Давление масла

Измерительные контроллеры ТК1 и ТК2 регистрируют температуру выхлопных газов главных двигателей

Рис. 3. Контрольно-диагностический комплекс «Портал-Дон-02»

Временные потери и ошибки, связанные с несвоевременной, некачественной обработкой и передачей информации при неоптимальных характеристиках таких систем, приводят к существенным финансовым потерям, недополучению прибыли, неэффективным решениям, при функционировании обслуживающих их систем ДМД.

Однако решение таких задач часто не предполагается ввиду сложности их решения и отсутствия доступных инструментариев. Преодоление названных проблем может быть обеспечено созданием и эксплуатацией высокоэффективных систем ДМД, основанных на применении новых технологий.

Расширить возможности обмена и передачи различного рода информации, повысить ее достоверность, увеличить скорость передачи, надежность и эффективность функционирования элементов судовых СТС можно совершенствованием режимов работы СТС, а также развитием систем ДМД СТС, связанных с многопараметрической и многокритериальной оптимизацией структур систем ДМД.

Актуальность. Проведенный анализ публикаций показал, что сегодня вопросом исследования систем ДМД и обслуживающих их систем передачи данных (СПД) уделяется существенное внимание. Однако известные способы и методы функционирования систем ДМД СТС основываются на общепринятых топологиях систем часто без их анализа. Вопросам структурной оптимизации характеристик систем ДМД судовых СТС в настоящее время посвящено ограниченное количество работ, что связано с особенностями и трудностями решения практических задач оптимизации.

Учитывая сложность и проблемность топологий, технологий передачи данных в таких системах, задача структурной оптимизации характеристик систем ДМД СТС является актуальной.

Целью работы является повышение эффективности эксплуатации судовых СТС, для достижения которой необходимо разработать метод структурной оптимизации характеристик систем ДМД судовых СТС.

Изложение основного материала. Для решения поставленной задачи в качестве объекта исследования выбрана система ДМД, состоящая из двух подсистем, одна из которых установлена на судне, вторая – в береговом диспетчерском центре. Подсистема, размещенная на судне, состоит из установленной подсистемы, например, в машинном отделении на объектах контроля, вторая – в рубке управления судном. Береговой диспетчерский центр состоит из диспетчерского сервера и системы коммуникаций для организации доступа конечных пользователей к информации, получаемой с судов.

При структурной оптимизации характеристик систем ДМД судовых СТС использовалась структурная схема (рис. 4) мониторинга, передачи данных в системе ДМД на основе ПСС или СТ (И – источники информации (устройства контроля параметров СТС в системе ДМД); K_{o1} , K_{o2} – контроллеры; C_1 , C_2 – серверы; К, ДК – кодер и декодер; КС – канал связи; Ш – шлюз; ЛС – локальная сеть; А – адресат).

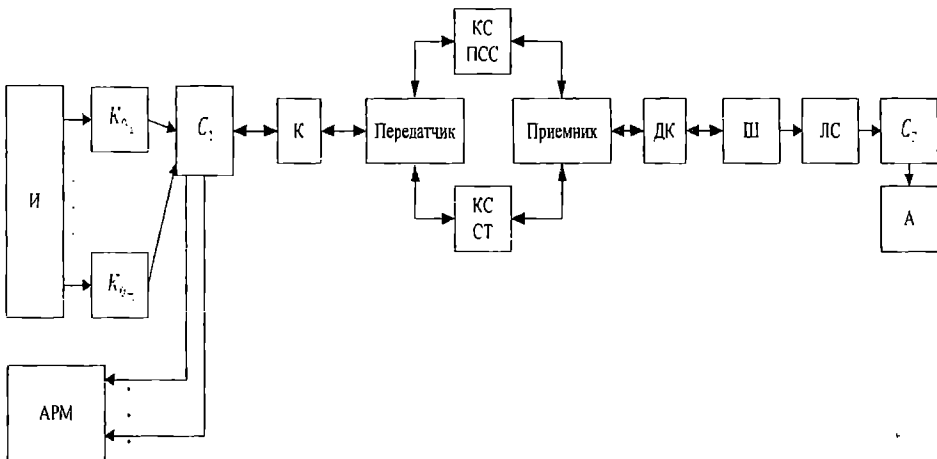


Рис. 4 Структурная схема системы ДМД судовых СТС

При постановке задачи структурной оптимизации характеристик систем ДМД судовых СТС в первую очередь необходимо определить набор независимых параметров, а также условий, определяющих допустимые значения, принимаемые переменными. Следующий шаг, получение целевой функции, как меры качества объекта оптимизации с заданными переменными. Третьим шагом является выбор метода и решение оптимизационной задачи.

Передача информации осуществляется на основе использования одного из стандартов IEEE 802.11, IEEE 802.15, WiMax, IEEE 802.22, EDGE, UMTS, LTE, параметры которых выбираются таким образом, что бы обеспечить определенный уровень качества. Накопленные данные мониторинга СТС в виде отчетов отправляются посредством ПСС или через СТ в береговой центр диагностики. Из практического опыта известно, что приемлемым интервалом подготовки отчетов является один час. Т.е. по истечении каждого часа производится формирование сводного отчета по накапливаемым в течение часа данным. Сформированный отчет может быть отправлен немедленно или сохранен в буфере отчетов с последующей отправкой с другими отчетами посредством ПСС online casino dgfev или через СТ. Главной задачей является выбор момента отправки содержимого буфера отчетов.

Решение задачи структурной оптимизации характеристик системы ДМД судовых СТС опирается на системный подход. Качество работы системы ДМД характеризуется совокупностью показателей (критериев) качества, влияющих на эффективность работы системы, основные из которых:

- оптимальное число типов устройств контроля технологических параметров СТС (S_{no});
- эффективность топологии СПД (F_0);
- пропускная способность СПД (B);
- быстродействие системы ДМД (T_{Σ});
- погрешность системы ДМД (σ);
- риски структуры системы ДМД (R_{Σ});
- эксплуатационные затраты на функционирование ДМД (C_{Σ});
- эффективность защиты информации в системе ДМД (Z_{Σ}).

Совокупность показателей качества системы можно записать в виде вектора

$$Q = \{S_n, F_0, T_{\Sigma}, B, \sigma, R_{\Sigma}, C_{\Sigma}, Z_{\Sigma}\}.$$

Величина Q является эффективностью или обобщенным показателем качества системы ДМД, для которой критерий качества – целевая функция системы. Целевая функция структурной параметрической оптимизации характеристик системы ДМД судовых СТС с набором переменных, влияющих на эффективность работы системы, вектор переменных, выраженных функцией

$$\Psi = \max \varphi \{S_n, F_0, T_{\Sigma}, B, \sigma, R_{\Sigma}, C_{\Sigma}, Z_{\Sigma}\}.$$

Задача оптимизации заключается в обобщении максимальной эффективности системы ДМД при определенных состояниях ее показателей

$$\Psi = \max \begin{cases} \varphi(S) = \min \varphi(S_n); \\ \varphi(F) = \max \varphi(F_o); \\ \varphi(T) = \max \varphi(T_z); \\ \varphi(B) = \max \varphi(B); \\ \varphi(\delta) = \min \varphi(\delta); \\ \varphi(R) = \min \varphi(R_z); \\ \varphi(C) = \min \varphi(C_z); \\ \varphi(Z) = \max \varphi(Z_z) \end{cases}$$

Целевая функция оптимизации числа типов устройств контроля технологических параметров СТС

$$\varphi(S) = \min \varphi(S_n),$$

$$S = \{S_n \in S | S_{\min} \leq S \leq S_{\max}, i = 1, n\}.$$

где S_n – общее число устройств контроля параметров в СТС;
 n – число контролируемых параметров.

Целевая функция оптимизации топологии СПД

$$\varphi(F) = \max \varphi(F_o) = \max \varphi(R, N, D, B, C),$$

$$R = \{R_o \in R | 0 \leq R \leq R_o\}, \quad N = \{N_o \in N | 0 \leq N \leq N_o\},$$

$$D = \{D_o \in D | D_{\min} \leq D \leq D_{\max}\},$$

$$B = \{B_o \in B | B_{\min} \leq B \leq B_{\max}\}, \quad C = \{C_o \in C | 0 \leq C \leq C_o\},$$

где R, N, D, B, C – показатели топологии структуры СПД;

R – избыточность структуры при превышении общего числа связей m над минимально необходимым их числом $n-1$;

N – неравномерность структуры, определяет квадратичное отклонение распределения связей структуры от равномерного их распределения;

D – диаметр структуры, определяет длину трактов передачи данных;

B – компактность структуры, характеризует близость ее элементов;

C – степень централизации структуры, отображает число связей проходящих через ее центральный элемент.

С учетом [4] приведя показатели R, N, D, B, C к безразмерной форме и к единому способу экстремизации, при их минимизации, получим нормированные частные критерии показателей эффективности топологии СПД R_0, N_0, D_0, B_0, C_0 . Агрегированный критерий эффективности топологии СПД может быть определен

$$F_0 = \frac{R_0 + N_0 + D_0 + B_0 + C_0}{5}, \quad F_0 \in [0;1].$$

Быстродействие работы ДМД зависит от быстродействия функционирования в рамках реального времени устройств контроля технологических параметров СТС (T_{So}), СПД ($T_{СПД}$), а также задержек сигналов в элементах СПД (T_3). Целевая функция оптимизации быстродействия работы ДМД

$$\varphi(T) = \max \varphi(T_\Sigma) = \max \varphi\left(\sum_{k=1}^n T_{So_k}\right),$$

$$\varphi(T) = \max \varphi(T_\Sigma) = \max \varphi\left(\sum_{l=1}^p T_{KO}, T_{C1}, T_K, T_{ПД}, T_{KC}, T_{ПК}, T_{ДК}, T_{Ш}, T_{ЛС}, T_{C2}\right),$$

$$\varphi(T) = \max \varphi(T_\Sigma) = \max \varphi\left(\sum_{w=1}^m T_3_w\right),$$

$$T = \{T_{So} \in T | T_{So_{\min}} \angle T_{So} \angle T_{So_{\max}}\}, \quad T = \{T_{KO} \in T | T_{KO_{\min}} \angle T_{KO} \angle T_{KO_{\max}}\},$$

$$T = \{T_{C1} \in T | T_{C1_{\min}} \angle T_{C1} \angle T_{C1_{\max}}\}, \quad T = \{T_K \in T | T_{K_{\min}} \angle T_K \angle T_{K_{\max}}\},$$

$$T = \{T_{ПД} \in T | T_{ПД_{\min}} \angle T_{ПД} \angle T_{ПД_{\max}}\}, \quad T = \{T_{KC} \in T | T_{KC_{\min}} \angle T_{KC} \angle T_{KC_{\max}}\},$$

$$T = \{T_{ПК} \in T | T_{ПК_{\min}} \angle T_{ПК} \angle T_{ПК_{\max}}\}, \quad T = \{T_{ДК} \in T | T_{ДК_{\min}} \angle T_{ДК} \angle T_{ДК_{\max}}\},$$

$$T = \{T_{Ш} \in T | T_{Ш_{\min}} \angle T_{Ш} \angle T_{Ш_{\max}}\}, \quad T = \{T_{ЛС} \in T | T_{ЛС_{\min}} \angle T_{ЛС} \angle T_{ЛС_{\max}}\},$$

$$T = \{T_{C2} \in T | T_{C2_{\min}} \angle T_{C2} \angle T_{C2_{\max}}\},$$

$$T = \{T_3 \in T | T_{3_{\min}} \angle T_3 \angle T_{3_{\max}}\}, \quad \varphi(T_{ЛС}) = \max \varphi(B_{ЛС}, f), \quad \varphi(T_{Ш}) = \max \varphi(B_{Ш}, f),$$

$$\varphi(T_{KC}) = \max \varphi(B_{KC}, f), \quad \varphi(T_K) = \max \varphi(n, T_L), \quad \varphi(B) = \max \varphi(B_{ЛС}, B_{Ш}, B_{KC}),$$

$$B = \{B_{ЛС} \in B | B_{ЛС_{\min}} \angle B_{ЛС} \angle B_{ЛС_{\max}}\}, \quad B = \{B_{Ш} \in B | B_{Ш_{\min}} \angle B_{Ш} \angle B_{Ш_{\max}}\},$$

$$B = \{B_{KC} \in B | B_{KC_{\min}} \angle B_{KC} \angle B_{KC_{\max}}\}, \quad T = \{T_L \in T | T_{L_{\min}} \angle T_L \angle T_{L_{\max}}\},$$

где T_{KO} – быстродействие работы контроллера;

T_{C1}, T_{C2} – быстродействие работы сервера;

$T_K, T_{ДК}$ – быстродействие работы кодера, декодера в СПД;

$T_{ПД}$ – быстродействие работы передатчика;

$T_{ПК}$ – быстродействие работы приемника;

$T_{ЛС}$ – быстродействие обработки сетевых потоков в принимающей локальной сети СПД;

$T_{Ш}$ – быстродействие обработки сетевых пакетов в принимающем транзитном шлюзе СПД;

$B_{ЛС}$ – пропускная способность принимающей локальной сети;

$B_{Ш}$ – пропускная способность принимающего транспортного шлюза;

B_{KC} – пропускная способность канала связи.

Пропускная способность СПД определяется максимальными пропускными способностями КС системы ДМД, принимающей локальной сети и принимающего транспортного шлюза СПД.

Целевая функция оптимизации пропускной способности системы ДМД

$$\varphi(B) = \max \varphi(W_o, S/N_o),$$

$$W = \{W_o \in W | W_{\min} \angle W_o \angle W_{\max}\},$$

$$S/N = \{S/N_o \in S/NB | S/N_{\min} \angle S/N_o \angle S/N_{\max}\},$$

где W – ширина полосы пропускания канала;

S/N_o – соотношение сигнал/шум в приемнике адресата.

Погрешность системы ДМД состоит из погрешностей первичных преобразователей параметров устройств контроля технологических параметров (δ_{S_n}), погрешностей, возникающих из-за потери данных СПД ($\delta_{СПД}$).

Целевая функция погрешности системы ДМД

$$\varphi(\delta) = \min \varphi(\delta_{S_n}, \delta_{СПД}),$$

$$\delta = [\delta_{S_n} \in 0; 1], \delta = [\delta_{СПД} \in 0; 1].$$

Риски структуры ДМД определяются рисками устройств контроля параметров СТС ($R_{S_{no}}$), а также средним риском СПД ($R_{СПД}$).

Целевая функция рисков структур системы ДМД

$$\varphi(R) = \min \varphi(R_S) = \min \varphi(R_{S_{no}}, R_{СПД}).$$

$$\varphi(R) = \min \varphi(R_{S_{no}}) = \min \varphi(p_{S_{no}}, H_{S_{no}}),$$

$$\varphi(R) = \min \varphi(R_{СПД}) = \min \varphi(R_i, P(S_i)),$$

где $p_{S_{no}}$ – вероятность выхода из строя устройств контроля параметров СТС;

$H_{S_{no}}$ – ущерб от выхода из строя устройств контроля параметров СТС;

R_i – условный риск при передаче данных;

$P(S_i)$ – условная вероятность ошибки при передаче данных.

Целевая функция эксплуатационных затрат на функционирование ДМД

$$\varphi(C) = \min(C_{\Sigma}) = \min\varphi(C_{S_{no}}, C_{СПД}),$$

$$\varphi(C) = \min \begin{cases} \varphi(C_{S_{no}}) \\ \varphi(C_{СПД}) \end{cases}.$$

В общем случае критерий эксплуатационных затрат на функционирование ДМД может быть определен, исходя из матрицы, каждый элемент которой состоит из стоимости эксплуатации системы ДМД.

Для оценки качества защиты информации могут быть использованы модернизированные стандарты ISO/IEC 27005:2008, ISO/IEC 17799 и ISO/IEC 15408, OCTAVE, CoBIT, BS7799-2 и т.д. [5; 6].

Целевая функция эффективности защиты информации в системе ДМД имеет вид

$$\varphi(Z) = \max \varphi(Z_{\Sigma}) = \max \varphi(R_{ВЗЛ}, N_f, T_a),$$

где $R_{ВЗЛ}$ – мультипликативный критерий риска от вероятности взлома СПД;

N_f – количество функций, характеризующих функциональность СПД;

T_a – среднее время доступа к объектам защиты СПД.

Задача оптимизации заключается в обеспечении максимального уровня защищенности при минимальном риске от вероятности взлома СПД, т.е.

$$\varphi(Z_{\Sigma}) = \max \begin{cases} \min \varphi(R_{ВЗЛ}) \\ \max \varphi(N_f) \\ \min \varphi(T_a) \end{cases}.$$

В целях перехода от многокритериального характера решения оптимизацией задачи к однокритериальному, введем ограничения

$$\varphi(Z_{\Sigma}) = \min \varphi(R_{ВЗЛ})$$

при

$$\begin{cases} N_f \geq N_{f0} \\ T_a \leq T_{a0} \end{cases},$$

где N_{f0} и T_{a0} – заданные ограничения на функциональность и производительность СПД.

В целях структурной многопараметрической и многокритериальной оптимизации характеристик системы дистанционного мониторинга и диагностики судовых сложных технических систем разработана структура программного обеспечения функционирования системы ДМД (рис. 5).

Использование алгоритмов IOSO 3.0, базирующейся на технологии построения поверхности отклика, позволяет решить поставленную задачу структурной многопараметрической и многокритериальной оптимизации характеристик ДМД судовых СТС. Программный комплекс IOSO предназначен для повышения эффективности сложных технических систем на основе многокритериальной и многопараметрической оптимизации их параметров с использованием процедур самоорганизации.

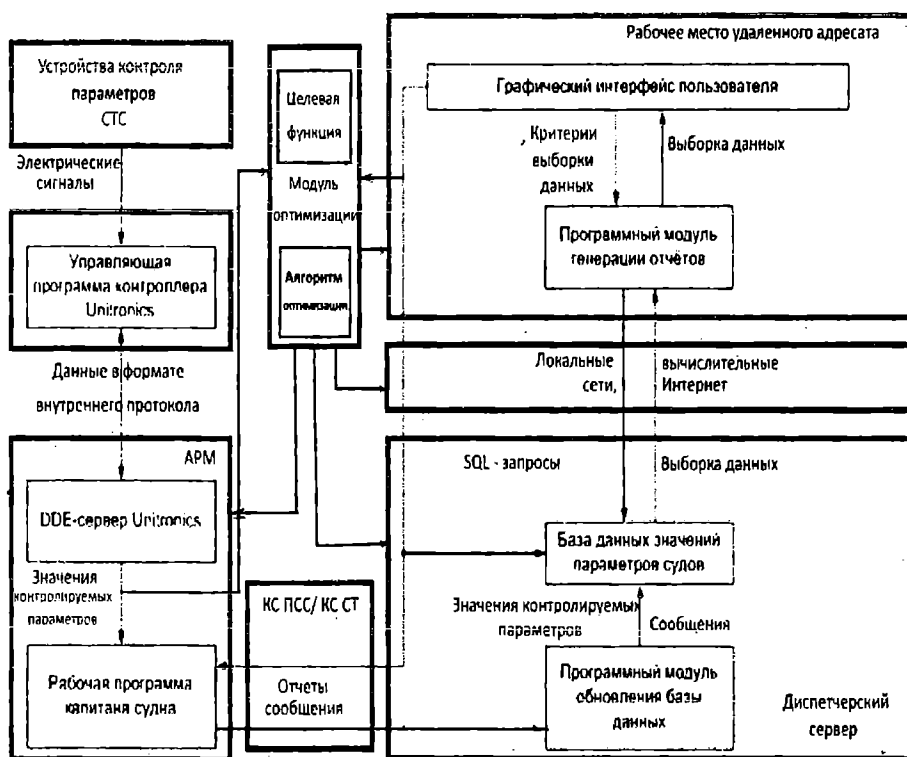


Рис. 5. Обобщенная структура программного обеспечения системы ДМД

В результате решения задачи оптимизации определяется множество альтернативных решений, соответствующих принципу оптимальности Парето и удовлетворяющих поставленным ограничениям. Данная стратегия решения задач оптимизации существенно отличается от известных подходов нелинейного программирования, обладает более высокой эффективностью и обеспечивает существенно более широкие возможности.

Интеграционная платформа IOSO реализуется через входные и выходные файлы моделей, которые могут быть в xml-формате или обычном текстовом виде. Для интеграции с известными пакетами инженерного анализа (ANSYS, NASTRAN, TaskFlow, Star-CD, FineDesign и др.) используются модули автоматической интеграции (рис. 6).

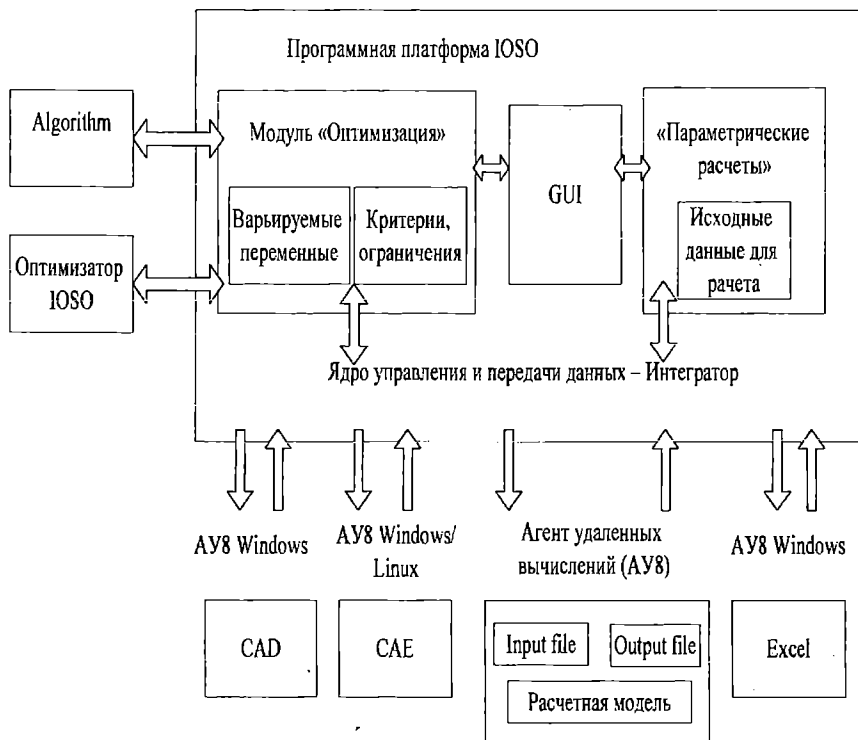


Рис. 6. Структура программной платформы управления расчетами и оптимизации IOSO

При настройке проекта осуществляется интеграция всех необходимых программных модулей в единый расчетный блок (рис. 7). На этом этапе задаются особенности запуска различных программных модулей; входные, выходные и передаваемые файлы; определяются входные, выходные и передаваемые параметры. IOSO позволяет легко осуществлять настройку входных и выходных параметров, как показано на рис. 8.

Наличие множества противоречивых требований, предъявляемых к СТС, приводит к тому, что результатом оптимизационного исследования является множество альтернативных оптимальных технических решений. В программе реализован алгоритм оптимизации, не относящийся ни к градиентным методам нелинейного программирования, ни к генетическим. В отличие от генетических алгоритмов, программа характеризуется тем, что имеет высокую скорость сходимости (минимальное потребное количество обращений к модели пользователя).

період с привязкой к прохождению судном контрольных точек; отслеживать состояния двигателей судна в режиме реального времени, помогающее избежать аварии при эксплуатации дизелей; визуализировать данные на панели оператора, позволяющие диспетчеру и экипажу дизельных двигателей судна наблюдать за расходом топлива; гарантировать надежность работы судового контрольно-диагностического комплекса; экономить топливо.

Выводы. Разработанный метод структурной оптимизации характеристик системы дистанционного мониторинга и диагностики судовых сложных технических систем при его реализации позволит исключить влияние человеческого фактора при учете различных технологических параметров СТС. Позволит повысить надежность эксплуатации судовых СТС. Отслеживать состояния СТС в режиме реального времени, что позволит избежать аварий при функционировании систем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аболиц А.И. Системы спутниковой связи. Основы структурно-параметрической теории и эффективность / А.И. Аболиц. – М.: ИТИС, 2004. – 426 с.
2. Камнев В.Е. Спутниковые сети связи / В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. – М.: Альпина Паблишер, 2004. – 536 с.
3. Патент US 20090187297, 07.23.2009.
4. Воронин А.Н. Многокритериальный синтез структуры системы передачи данных / А.Н. Воронин, М.В. Куклинский // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – № 1 (29). – С. 93-99.
5. ISO/ IEC 27005^ 2008 / Information Technology. Security techniques. Information security risk management, 2008.
6. Vose D. Risk analysis: a quantitative guide. – 3-rd edition. John Wiley Sons, 2008.

Стаття надійшла до редакції 20.01. 2016

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація флоту» Одеського національного морського університету **В.Г. Івановський**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету **В.П. Сторожев**

УДК.629.123

Р.Г. Гудилко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ СУДОВ

В статье рассмотрен процесс подготовки и горения дизельного топлива с добавками воды в различных концентрациях. Показано, что присутствие воды при определенных условиях может положительно влиять на процесс горения приводя к улучшению характеристик получаемого факела горения и тепловыделения топлива. Приведено описание экспериментального стенда, позволяющего определять устойчивость режима горения топлива с водной примесью.

Ключевые слова: процесс горения, водотопливная эмульсия, судовой главный двигатель, характеристики струи, температура и концентрация компоненты.

У статті розглянуто процес підготовки і горіння дизельного палива з добавками води в різних концентраціях. Показано, що присутність води при певних умовах може позитивно впливати на процес горіння призводячи до поліпшення характеристик одержуваного факела горіння і тепловиділення палива. Наведено опис експериментального стенду, що дозволяє визначати стійкість режиму горіння палива з водної домішкою.

Ключові слова: процес горіння, водопаливна емульсія, судновий головний двигун, характеристики струменя, температура і концентрація компоненти.

The article describes the process of preparation and combustion of diesel fuel additives to the water in varying concentrations. It is shown that the presence of water under certain conditions can positively affect onto combustion processes resulting in improved characteristics of the resulting plume of burning fuel and fuel heat productivity. The description of the experimental plant, allowing to determine the stability of the regime of burning fuel with water impurity.

Keywords: combustion process, waterfuel emulsions, ship main engine, jet characteristics, temperature and concentration of the components.

Введение. В настоящее время можно констатировать, что все суда водного транспорта используют при работе судовых энергетических установок (СЭУ) не чистое топливо, а топливные эмульсии с присутствием водной компоненты. Присутствие воды в топливе избежать практически невозможно.

Естественные процессы конденсации влаги из окружающей среды, технические неисправности в узлах герметизации и уплотнениях топливных и балластных танков и т.д., приводят к попаданию водной компоненты в топливо.

Постановка задачи. Аналитический обзор известных результатов теоретических и экспериментальных исследований [4-6] не позволяет однозначно делать вывод о негативном влиянии воды в топливе на качественные и количественные показатели процесса горения. Известно, что в ходе сгорания (химического окисления) топлива за счет появления таких промежуточных химических соединений, как спирты небольшие добавки воды приводят к улучшению качества процесса горения. В частности, в этом случае возрастает диспергирование факела и могут снижаться степень концентрации вредных компонент (сажа, токсичные оксиды азота и серы и т.п.) в уходящих газах, температура уходящих дымовых газов и т.д.

По-прежнему с научной точки зрения многие вопросы, связанные с теорией горения обводненных топлив остаются не раскрытыми и требуют своего последующего всестороннего исследования. Особый интерес в этом случае представляет собой получение теоретических и экспериментальных результатов по описанию процесса горения обводненного топлива в условиях работы судна. Конечным итогом таких исследований должны быть базовые показатели и метод оценки степени влияния концентрации воды в топливе на рабочие процессы в (СЭУ).

На основе анализа технических проблем, связанных с эксплуатацией морских судов можно констатировать, что своего решения требует очень актуальная научно-техническая задача, которая заключается в разработке метода обеспечивающего повышение эффективности эксплуатации судов за счет использования новых технологий подготовки водотопливных смесей и их последующего горения в главном двигателе судна.

Результаты. Влагу в дизельном топливе можно подразделять на два вида: внутреннюю и внешнюю.

Внутренняя влага в дизельном топливе является одной из составляющих и она является коллоидной, т.е. равномерно распределенной в единице объема. Ее количество определяется природным составом топлива и в зависимости от производителя ее концентрация может меняться. Также количество коллоидной влаги в топливе напрямую определяется относительной влажностью атмосферного воздуха. В тропических условиях плавания судна по сравнению с северными районами этот показатель будет всегда намного выше.

К коллоидной влаге также можно отнести гидратную влагу – ту часть воды, которая химически связана с минеральными примесями топлива. Обычно к ним относят сернистый кальций и алюмосиликат.

При анализе характеристик топлива индикатором гидратной влаги является зольность топлива. Чем она выше, тем больше внутренней влаги содержится в топливе.

Внешняя влага в топливе является величиной переменной. Ее основными источниками являются: атмосферные, техногенные и технические.

К атмосферным источникам попадания влаги в судовое топливо относят: выпадение конденсата из окружающей среды; попадание влаги внутрь топливного трюма вследствие атмосферных осадков и штормового волнения.

К основным техногенным источникам попадания влаги в судовое топливо можно отнести: повышенное влагосодержание при бункеровке судна; аварийные разрывы в местах соединений или коррозии трубопроводов, проходящих через топливные танки; утечки через места сопряжения танков содержащих воду и топливо.

При всем многообразии методов предназначенных для отделения воды от топлива реальное практическое применение на судах получили только три из них. К ним относятся: метод гравитационного разделения, метод центробежной сепарации и метод фильтрования [2]. Каждый из этих методов обладает рядом своих преимуществ и недостатков.

Все рабочие характеристики этих методов зависят от величины поверхностного натяжения на границе раздела между топливом и водой. Чем оно выше тем быстрее идет отделение воды от топлива.

На величину поверхностного натяжения между компонентами водотопливной эмульсии основное влияние оказывает вязкость топлива и воды. В случае, если ее значения большие то поверхностное натяжение на границе раздела воды и топлива также будет большим. Эта графическая зависимость для различных степеней обводненности топлива показана на рисунке 1 [6].

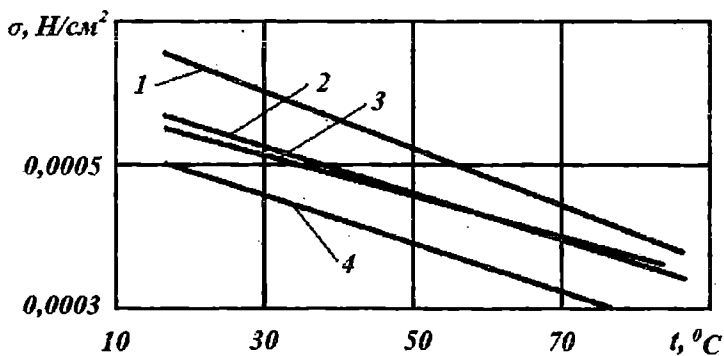


Рис. 1. Зависимость поверхностного натяжения мазута от температуры [6]:

1 — мазут; 2, 3, 4 — мазутная эмульсия с влагосодержанием 10, 30 и 40 %

Поскольку все три метода не позволяют отделять от топлива связанную (коллоидную или гидратную) воду, то они могут рассматриваться только как предварительные судовые методы фильтрации. По этой причине нужно использовать другой подход, который связан с оптимизацией уже используемого оборудования или какой-то конкретной технологии. В этом случае обычно предлагается использование основных фундаментальных законов или особенностей поведения рассматриваемых сред внутри работающих механизмов или технологических контуров. Именно этот подход был выбран при проведении исследований.

Возможность создания новой технологии, которая изменит основные свойства водотопливной эмульсии базируется на конечном результате известного физического процесса. При высоких скоростях движения за счет преобразования кинетической энергии возможно механическим путем достигнуть изменение структуры и свойств многофазных сред. Другими словами механическое перемешивание на высоких скоростях движения может привести к переходу внешней влаги в топливе во внутреннюю и таким образом полученная эмульсия будет характеризоваться равномерно распределенной структурой и устойчивостью к расслаиванию.

На основе систематизации опытных данных работы [1] был сделан универсальный вывод – взятые в аналогичных поперечных сечениях движущейся турбулентной струи профили концентрации примеси совпадают с профилями температуры в аналогичных сечениях. Другими словами распределение водной компоненты в водотопливной эмульсии, которая впрыскивается в рабочий цилиндр судового главного двигателя, может изучаться по полю температур в этой струе.

В соответствии с [3] уравнение сохранения количества движения в струе для продольной составляющей скорости может быть записано в виде

$$\frac{\partial V_x^2}{\partial x} + \frac{\partial V_x V_y}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

где V_x, V_y – проекции составляющих скорости;

x, y – координаты.

Величина поперечной составляющей скорости V_y в движущейся струе может быть найдена по величине продольной составляющей V_x как

$$V_y = -\int \frac{\partial V_x}{\partial x} dy. \quad (2)$$

Уравнение теплообмена в струе имеет вид

$$V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} = -l^2 \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad (3)$$

а двумерное уравнение теплового баланса струи может быть записано в виде

$$\Delta T V_y + \frac{\partial}{\partial x} \int_0^y \Delta T V_x dy + c^2 x^2 \frac{\partial V_x}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y}, \quad (4)$$

где T – температура;

l – длина пути перемешивания;

c – коэффициент теплопередачи.

В ходе своего движения струя водотопливной эмульсии будет расширяться за счет возникающих в ней напряжений. Для осесимметричной струи две компоненты, соответствующие тангенциальному и нормальному напряжению, могут определяться как

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) \quad (5)$$

$$\tau_{xx} = -\frac{2}{3} \mu \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) + 2\mu \frac{\partial V_x}{\partial x}, \quad (6)$$

где τ – напряжение;

μ – динамическая вязкость.

При истечении струи топлива из сопла она может рассматриваться как неизотермическая струя в спутном потоке малой скорости. Ее профили скорости и температуры описываются как:

- начальный участок струи

$$V_x = \left(1 - \left(\frac{y - y_2}{y_1 - y_2} \right)^{\frac{3}{2}} \right)^2 \quad (7)$$

$$T = 1 - \frac{y - y_2}{y_1 - y_2} \quad (8)$$

- основной участок струи

$$V_x = \left(1 - \left(\frac{y}{r} \right)^{\frac{3}{2}} \right)^2 \quad (9)$$

$$V_x = 1 - \left(\frac{y}{r} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (10)$$

где y_1 и y_2 – ординаты внутренней и внешней границ турбулентного пограничного слоя в начальном участке струи;

y и r – ординаты точек, соответствующих произвольному значению безразмерной скорости и границе струи.

В основе горения дизельного топлива в смеси с водой лежит целый ряд сложных физических процессов. Горение осуществляется с использованием так называемого эффекта микровзрыва, когда водотопливная эмульсия попадает из форсунки в рабочую камеру сгорания. Если считать, что структура капли водотопливной эмульсии является однородной то в этом случае можно констатировать, что на молекулярном уровне структура дизельной и водной составляющей будут отличаться.

По сравнению с молекулами воды молекулы дизельного топлива представляют собой сложные органические соединения.

Известно, что при одинаковом давлении окружающего пространства температура кипения воды и дизельного топлива не совпадают. У дизельного топлива она выше. По этой причине водная компонента из эмульсии начнет испаряться раньше. В тот момент, когда в водяном паре внутри капли величина давления станет больше величины критического поверхностного давления, произойдет микровзрыв с разрывом сферической оболочки капли. В момент взрыва внутри капли водотопливной эмульсии возникнет реактивный эффект, из-за которого частицы эмульсии начнут разлетаться. Направление их движения будет противоположным направлению движения точки первоначального разрыва капли эмульсии. За счет этого распыл топлива будет осуществляться более интенсивно и равномерно, а самое главное с более мелким уровнем диспергирования дизельного топлива.

В момент первоначального возгорания водотопливной эмульсии по сравнению с процессом горения обычного дизельного топлива будет иметь место увеличение пространственных размеров и угла раствора конуса факела. Этот факт является несомненным преимуществом перед сжиганием обычного дизельного топлива, при котором существует проблема так называемых «мертвых зон» – неполного заполнения объема камеры сгорания.

В процессе испарения водной составляющей будет наблюдаться улучшение процесса смесеобразования топлива с воздухом, что обеспечивается за счет ускорения процесса испарения топлива. В конечном итоге интенсификация процесса горения приведет к повышению общей динамики тепловыделения.

В соответствии с разработанной методикой проведения исследований на первоначальной стадии водотопливная эмульсия готовилась с использованием двух вариантов механического смешения. В первом случае использовалась ультразвуковая вибрация, а во втором – механическое перемешивание воды и топлива. Перемешивание производилось внутри кольцевой гидравлической сети, когда топливо и вода из трубопровода поступали в рабочее колесо центробежного насоса. Конструктивно рабочее колесо было видоизменено – в нем был высверлен набор отверстий по всей длине межлопастных рабочих каналов. За счет высокой скорости вращения в насосе частично возникала кавитация, которая при разрушении возникающих паровых пузырьков также способствовала интенсификации процесса перемешивания воды и топлива.

Разница между этими двумя методами подготовки водотопливной эмульсии заключается в качестве получаемой на выходе смеси. В случае ультразвуковой подготовки получалась практически однофазная жидкость, которая в течение очень длительного времени (до месяца) не подвергалась расслаиванию на составные компоненты. При механическом смешении период расслаивания составлял до нескольких суток.

В обоих случаях подготовки эмульсии до начала процесса перемешивания измерение концентрации двух сред производилось объемным способом. Были использованы цилиндрические мерные стаканы 1 класса точности вместимостью 100 мл с ценой деления 1 мл.

Первый вариант смешения подразумевал использование погруженного в топливо ультразвукового вибратора и добавление воды в момент его работы. Был использован калиброванный в заводских условиях ультразвуковой генератор ИЛ 10-2.0. Его основные характеристики: напряжение питания при частоте 50-60 Гц равно $220 \pm 10\%$; однофазный; рабочая частота 16-25 кГц; выходная мощность не менее 2 кВт; потребляемая мощность не более 2,2 кВт; КПД при $\cos \varphi$ нагрузки = 0,86 не менее 92%; тип подключаемых преобразователей – магнитострикционный.

При механической подготовке эмульсии с использованием насоса был использован закольцованный гидравлический контур, в который вода подавалась при помощи дозатора. Общая схема установки механического смешения показана на рисунке 2. Движение топлива внутри трубопровода 1 закольцованного при помощи полностью закрытого крана 5 осуществлялось за счет работы центробежного насоса 4. Диаметр трубопровода составлял 50 мм, а одноступенчатый насос, предназначенный для перекачивания судовых льяльных вод марки DESMI (Дания) серия NSA, имел следующие характеристики: расход – 5-10 м³/час; максимальный напор – 10 м.в.ст.

Для проведения экспериментальной оценки возможности эксплуатации судна на обводненном топливе был разработан экспериментальный стенд. Он показан на рисунке 3 и при его использовании в ходе экспериментов определялась минимальная температура, при которой может воспламеняться и устойчиво гореть смесь топлива с водой в зависимости от различных значений ее объемной концентрации.

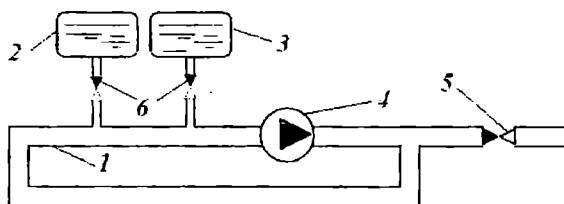


Рис. 2. Схема гидравлического контура:
1 – кольцевой трубопровод; 2 – дозатор топлива; 3 – дозатор воды;
4 – насос; 5 – автоматический клапан

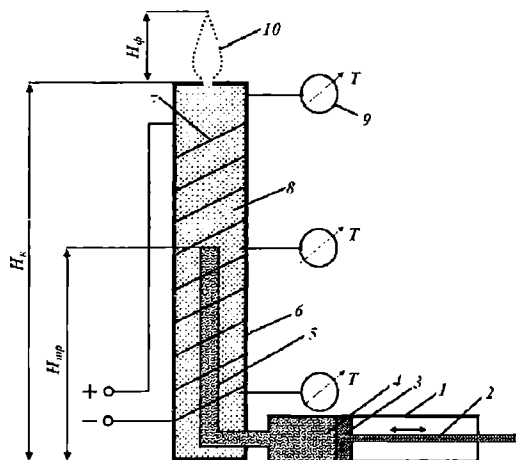


Рис. 3. Схема экспериментального стенда:

- 1 – цилиндрический канал; 2 – шток; 3 – поршень;
4 – водо-топливная эмульсия;
5 – насадка для нагрева водотопливной эмульсии; 6 – камера сгорания;
7 – нить накала; 8 – газообразная топливная смесь;
9 – термометр; 10 – факел

Технологическая схема работы научно-исследовательской установки следующая: в цилиндрический канал 1, который играет роль накопительного судового топливного танка, закачивалась водотопливная эмульсия 4. Канал 1 заполнялся полностью. За счет движения движения штока 2 с установленным поршнем 3 водотопливная эмульсия 4 в жидком виде подавалась на горение, причем скорость движения штока 2 позволяла регулировать величину массового расхода рабочей смеси.

Основным элементом установки являлся рабочий корпус 6. Он был выполнен из стальной трубки диаметром 1 см и с толщиной стенок 2 мм. С целью проверки воспроизводимости результатов измерений высота рабочего корпуса 6 была переменной величиной и составляла соответственно $H_k = 150, 200$ и 300 мм. С обеих концов рабочий корпус был герметично закрыт.

К цилиндрическому каналу 1 под прямым углом была герметично подсоединена насадка 5. Она моделировала работу судового парового подогревателя топлива и ее основной функцией являлся нагрев водотопливной эмульсии до того значения температуры воспламенения, которое соответствует текущей концентрации воды в топливе. В зависимости от размера рабочего корпуса 6 высота насадки 5 изменялась и была соответственно равна $H_{mp} = 75, 100$ и 150 мм.

Нагрев жидкой водотопливной эмульсии внутри насадки 5 осуществлялся при помощи никель-хромовой нити накала 7. Она, по спирали с равномерным шагом, была расположена на внешней стенке камеры сго-

рания 6. За счет регулирования степени ее нагрева тепловой поток с различной величиной тепловой мощности передавался через стенки в межтрубное пространство 8. Эта область научно-исследовательской установки по мере испарения топлива заполнялась парами водотопливной эмульсии, которая принимала соответствующее значение температуры нагрева.

На выходе из рабочей камеры 6 располагалось тонкое отверстие, моделирующее форсунку. Его диаметр составлял 1,5 мм и оно было изготовлено с обработкой внешней и внутренней выходной кромок.

По высоте рабочей камеры располагались три термопары для контроля величины температуры водотопливной смеси. Первая термопара располагалась на уровне входа насадки для нагрева водотопливной эмульсии 5 в камеру сгорания 6. Вторая термопара была установлена на уровне выходной кромки насадки 5. Третья термопара соответствовала самой верхней точке камеры сгорания 6.

В каждой серии проводимых экспериментальных измерений первоначально производился разогрев внутреннего пространства рабочей камеры 6 до температуры не менее 200 °С. После того, как все три термопары начинали показывать одинаковые значения температуры газообразной водотопливной эмульсии к тонкому отверстию, моделирующему форсунку, подносился огонь, воспламеняющий вытекающую газовую струю. Возникновение факела и последующее отсутствие его срывов указывало на устойчивость процесса горения.

Величина концентрации воды в топливе является главным фактором, влияющим на процесс его сжигания в рабочей камере СЭУ. В результате экспериментального изучения этого влияния были получены новые результаты, которые могут оказывать существенное влияние на эксплуатационные характеристики судна. К самым главным характеристикам можно отнести:

- затраты на топливо, напрямую определяющиеся его массовым расходом, который в результате использования полученных данных может быть снижен;
- границы поддержания температурного диапазона устойчивого факела горения рабочей смеси в камере сжигания СЭУ;
- увеличение срока проведения регламентных работ по обслуживанию топливной аппаратуры судна.

Пример таких данных показан на рисунке 4, где для различных значений концентраций смеси судового дизеля с водой была определена экспериментальным путем температура устойчивого горения. На графике построены результаты, относящиеся к двум способам приготовления водотопливной эмульсии. Кривая 1 соответствует механическому способу смешения, а кривая 2 соответствует подготовке с использованием ультразвукового генератора. Как видно из графика при правильной подготовке водотопливной эмульсии наличие влаги в топливе в количестве до 12 % не приводило к остановке или нарушению процесса его горения.

На рис. 5 приведенные результаты соответствуют осредненным значениям температуры горения. С целью проверки их воспроизводимости использовались три различные высоты рабочей камеры. В этом случае пространственное расположение точек замера изменялось, однако полученные результаты указали на неизменность окончательных значений. В качестве примера на рисунке 5 можно увидеть, что значения температуры горения, полученные с термопары, располагавшейся на уровне подачи топлива в рабочую камеру H_{mp} и термопары, установленной на выходе из нее H_k , практически совпадали.

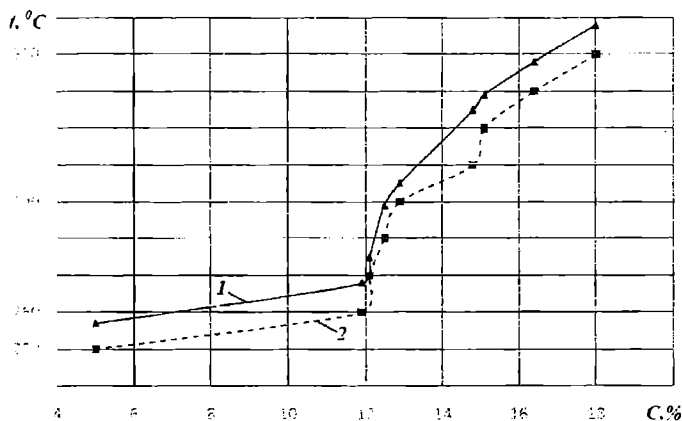


Рис. 4. Влияние концентрации воды на температуру горения водотопливной эмульсии:

- 1 – механическая подготовка водотопливной эмульсии;
- 2 – ультразвуковая подготовка водотопливной эмульсии

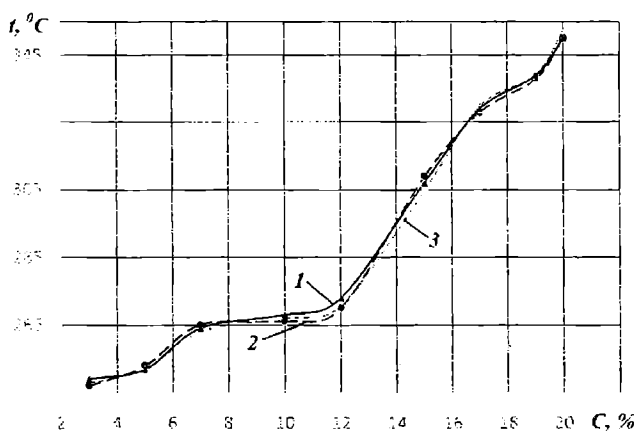


Рис. 5. Изменение температуры по высоте рабочей камеры:
1 – термопара расположена внизу рабочей камеры;
2 – термопара расположена посередине рабочей камеры;
3 – термопара расположена на уровне источника факела горения

На графике наблюдается небольшое отличие показаний первой термопары, соответствующей нижней части рабочей камеры. По сравнению с другими термопарами оно имело место в пределах абсолютной погрешности 1,7 %. Основным объяснением такого отличия может быть факт температурной стратификации материала стенок рабочей камеры по ее высоте, поскольку в этой части ее нагрев при помощи нагревательного элемента не производился.

В соответствии с выводами работы [1] в силу полностью идентичных механизмов переноса тепла и примесей в струе поля безразмерных значений избыточной концентрации примеси и избыточной температуры совпадают между собой. По этой причине все описанные результаты измерений могут быть использованы, как универсальные при оценке полей температуры и концентрации внутри рабочей камеры СЭУ во время горения водотопливной эмульсии.

Таким образом на основе проведенных исследований можно констатировать, что наличие влаги в топливе при работе судна не является отрицательным фактором. При правильном использовании новых технологических линий топливоподготовки влага в топливе может даже приводить к повышению основных эксплуатационных показателей СЭУ.

Выводы

1. В ходе сгорания водотопливных эмульсий за счет появления таких промежуточных химических соединений, как спирты небольшие добавки воды приводят к улучшению качества процесса горения. В этом случае возрастает диспергирование факела и снижается степень концентрации вредных компонент (сажа, токсичные оксиды азота и серы и т.п.) в уходящих дымовых газах.

2. На величину поверхностного натяжения между компонентами водотопливной эмульсии основное влияние оказывает вязкость топлива и воды.

3. При правильной подготовке водотопливной эмульсии наличие влаги в топливе в количестве до 12 % не приводит к остановке или нарушению процесса его горения.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Абрамович Г.М. Теория турбулентных струй. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1960. – 715 с.*
2. *Ермошкин Н.Г., Калугин В.Н., Корнилов С.В., Кулешов И.Н. Судовые установки очистки нефтесодержащих вод. – Одесса: Феникс. – 44 с.*

3. *Malahov A. V., Streltsov O. V., Maslov I., Gudilko R. G. Jet forces analysis for cones. Proceedings of the 1st International Academic Conference «Science and Education in Australia, America and Eurasia: Fundamental and Applied Science» (Australia, Melbourne, 25 June 2014). Volume I. «Melbourne IADCES Press». – Melbourne, 2014. – 692 p.*
4. *Richardson J.F. The evaporation of two-component liquid mixtures // Chemical Engineering Science. – 1959. – V. 10. – P. 234-242.*
5. *Taylor R., Krishna R. Multicomponent mass transfer. John Wiley & Sons inc. – New York, 1993.*
6. *Venerus D.C., Yala N. and Berstein B. Non-Newtonian Fluid Mech. – 75. – 55. – 1998.*

Стаття надійшла до редакції 16.12.2015

Рецензенти:

доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **А.В. Малахов**

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.В. Демідюк**

УДК 627.33

А.В. Слободяник

ИННОВАЦИОННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ГЛУБОКОВОДНОГО ПРИЧАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ

В статье рассмотрена новая конструкция глубоководного причала типа шпунтовой стенки повышенной жесткости, которая выгодно отличается от традиционной заанкеренной шпунтовой стенки по нескольким параметрам.

Ключевые слова: *глубоководный причал, шпунтовая стенка, контрфорсы, внешние нагрузки.*

У статті розглянута нова конструкція глибоководного причалу типу шпунтової стінки підвищеної жорсткості, яка вигідно відрізняється від традиційної заанкереної шпунтової стінки за кількома параметрами.

Ключові слова: *глибоководний причал, шпунтова стінка, контрфорси, зовнішні навантаження.*

A new designed of deep water berth is described in this article. It is a tongue-and-groove wall of increased rigidity, which differs advantageously from conventional anchored sheet piling by several parameters.

Keywords: *deep-water berth, tongue-and-groove wall, counterforce, of the external loads.*

Постановка проблемы. Существующие порты Украины, за некоторым исключением, не имеют специализированных глубоководных причалов для обслуживания крупнотоннажных судов [1; 2]. По этой причине многие причалы должны быть реконструированы с учетом размеров нового расчетного судна. Глубоководные причалы также могут возводить и на открытых акваториях (внешних рейдах). Очевидным является тот факт, что многие конструктивные решения, реализованные в послевоенный период, не могут использоваться в качестве глубоководных. Учитывая это обстоятельство, в настоящее время необходима разработка новых глубоководных причалов и создания методов их расчета.

Одним из таких решений, представленных в данной работе, является инновационная конструкция глубоководного причала типа больверк, которая защищена патентом Украины [3; 4]. Основной отличительной особенностью является отказ от традиционных анкерных тяг, устройство которых сопряжено с определенными трудностями как временными, так и финансовыми.

Целью настоящей работы является разработка метода расчета предлагаемой конструкции глубоководного причала.

Основная часть. Предложенная конструкция состоит из традиционной лицевой шпунтовой стенки, омоноличеной сверху шапочным брусом, имеющим температурно-деформационные швы через 25-30 м (рис.1). Вместо анкерных тяг по длине стенки устраиваются поперечные ряды свай (контрфорсы), которые погружают в грунт основания и крепят к тыловой части шпунтовой стенки с помощью замковых соединений. Затем выполняется обратная грунтовая засыпка. Ширину и шаг контрфорсов следует назначать кратным ширине шпунтовой сваи и/ли ширине пакета при погружении.

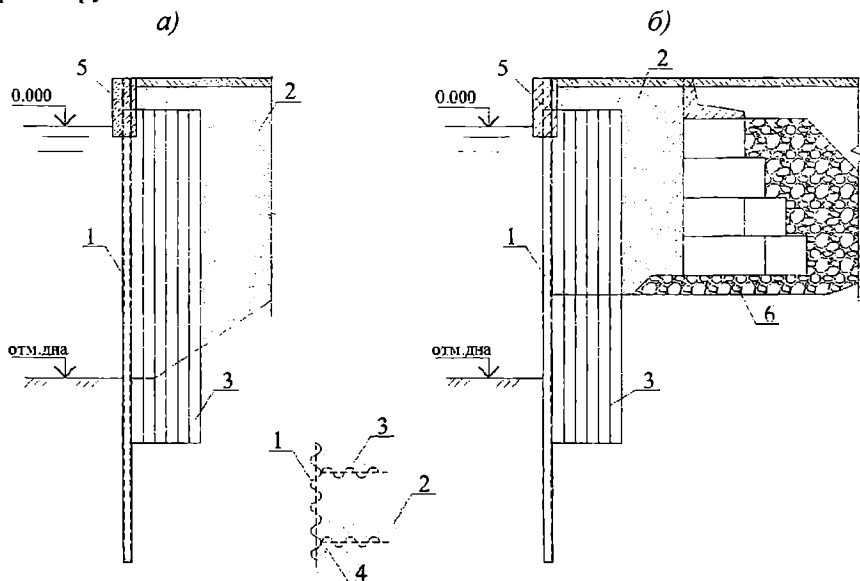


Рис.1. Шпунтовая стенка с контрфорсами:

а) строительство нового причала; б) при реконструкции причала:

1 – лицевая шпунтовая стенка; 2 – обратная засыпка;

3 – поперечные ряды свай; 4 – замковые соединения; 5 – шапочный брус;

6 – существующая конструкция

Как и любое причальное сооружение, данная конструкция будет подвергаться внешним и внутренним нагрузкам: эксплуатационным, активному давлению грунта, от судов, волновым.

При расчете причального сооружения такого типа применение существующих методов расчета (как для заанкеренного больверка) не представляется вполне корректным. Расчетная схема заанкеренной шпунтовой стенки представляет собой балку с шарнирным креплением на уровне крепления анкерной тяги и защемленную нижним концом в грунт (рис. 2, а). Характер деформаций такой стенки и ее напряженное состояние зависят от ряда многих факторов: гибкости стенки, глубины погружения в грунт основания, податливости анкерных тяг. Учет перечисленных факторов представляет достаточно сложную инженерную задачу.

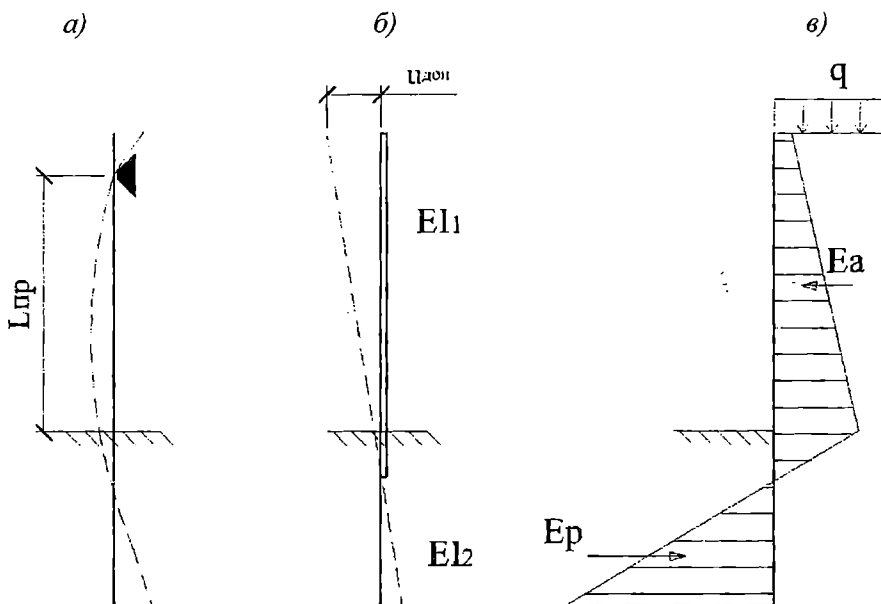


Рис. 2. Расчетная схема:
а) заанкеренный больверк; б) шпунтовая стенка с контрфорсами;
в) действующие нагрузки

Расчетная схема предлагаемой конструкции является более упрощенной (рис. 2, б). Ее можно рассматривать как консольную балку, защемленную в грунтовое основания с различными жесткостями по высоте (часть стенки погруженная в грунт и усиленной жесткости от верха стенки до глубины забивки контрфорсов). При этом расчет по деформациям заключается в определении горизонтального смещения верха стенки, которое не должно превышать предельного значения.

Недостатком в работе причальных сооружений типа больверк при больших глубинах и эксплуатационных поверхностных нагрузках высокой интенсивности являются их значительные горизонтальные смещения и деформации в пролете (от крепления анкерной тяги до точки условного защемления). Наличие контрфорсов на этом участке гарантирует исключение недопустимых прогибов шпунтовой стенки по ее высоте. Таким образом, представленная конструкция является вполне применимой на относительно больших глубинах.

Основной нагрузкой на причальные сооружения типа больверк является активное давление грунта, которое возрастает с увеличением глубины у причала. Применение анкерных тяг не снижает активное давление грунта, поэтому для глубоководных причалов необходимо применять дополнительно разгружающие устройства типа экранирующего ряда свай. Контрфорсы, установленные с определенным шагом вдоль линии

кордона, будут существенно снижать активное давление грунта за счет трения по боковым поверхностям. Их погружение в грунт основания будет придавать большую устойчивость данной конструкции. При этом шаг контрфорсов будет больше, чем шаг анкерных тяг в существующих причальных сооружениях.

Контрфорсы также могут служить основной опорой прикордонной подкрановой балки контейнерных перегружателей или порталных кранов. Причем пригрузка от нее будет благотворно влиять на работу всей конструкции в целом.

В случае аварии на традиционных причалах типа больверк, например, при неудачной швартовке судов или при перегрузке причала, производство ремонтных работ значительно усложняется, поскольку в некоторых случаях будет возникать необходимость замены анкерных тяг. Ремонт анкерных тяг сопровождается выводом участка объекта из эксплуатации, значительной технической сложностью и большими объемами работ по восстановлению. Использование контрфорсов в конструкции причального сооружения позволит избежать как при ремонте, так и при возведении трудоемкости при монтаже анкерных устройств и повысит темпы строительства.

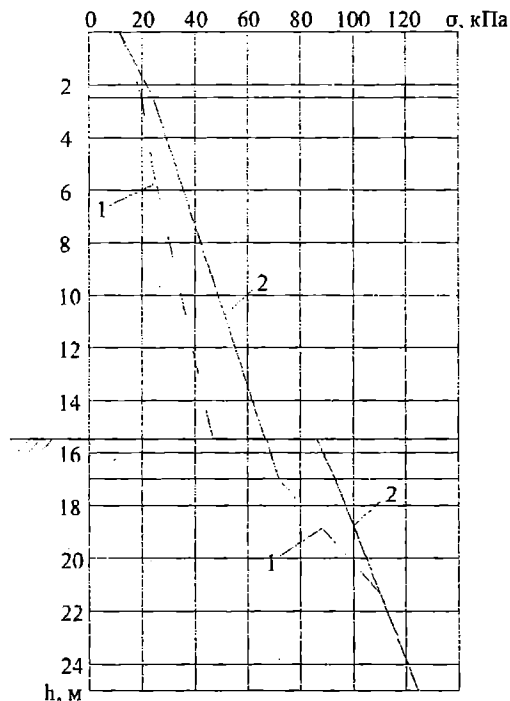
Преимуществами применения усовершенствованного конструктивного решения шпунтовой стенки при реконструкции причалов различных типов является:

- отсутствие необходимости в частичной разборке старой конструкции и разуплотнения грунта засыпки при устройстве анкерной опоры оторочки;

- нет необходимости в выносе новой линии кордона на большие расстояния, расстояние до существующей конструкции ограничивается размерами контрфорса.

С целью сравнения был рассмотрен проект глубоководного причала в порту Южный, типовой конструкцией которого является экранированный больверк с анкеровкой в одном уровне [5]. Глубина у причала 15 м. Лицевая шпунтовая стенка сооружения выполнена из стального шпунта PU 32. Экранирование лицевой стенки осуществлялось передним рядом стальных свай диаметром 1220 мм с шагом 2,40 м. Шаг тылового ряда свай составил 3,60 м. Лицевая стенка была заанкерована с помощью жесткого анкера из двутавровых балок длиной 26 м, тыловые концы которых оборудованы анкерными плитами.

Предложенная инновационная конструкция может быть выполнена из лицевой стенки из стального типа PU 20, а контрфорсы из шпунта PU 32 высотой 17 м, шириной 3 м с шагом 3 м. Активное давление грунта для стенки с контрфорсом определялось с учетом разгружающего действия по методике, представленной в работе [5]. Полученная эпюра активного давления грунта приведена на рис. 3.



*Рис. 3. Эпюра активного давления грунта:
1) с учетом разгружающего действия контрфорсов;
2) без учета разгружающего действия контрфорсов*

Таким образом, результирующая сила активного давления грунта составила для стенки с контрфорсами 1362,8 кН, для стенки без контрфорсов 1621 кН. При этом, контрфорсы уменьшают активное давление грунта на 16,2 %. При оценке напряжено-деформируемого состояния системы «шпунтовая стенка-грунт засыпки» получены результаты, которые сведены в таблицу.

Таблица

Технико-экономические показатели на 100 м причала

Вид конструкции	Максимальный момент, кНм/м	Перемещение верха стенки, см	Напряжения в элементах, МПа	Профиль шпунта	Расход металла, т
Шпунтовая стенка с контрфорсами	5 330	+3,13	128/270	ПУ20 / ПУ32	658 / 618
Экранированная шпунтовая стенка	408 / 694	-1,6	204/107	ПУ32 / ø1220	962 / 486

Примечание: максимальный момент для заанкеренной шпунтовой стенки приведен для двух сечений: в пролете и в грунтовой заделке; профиль шпунта и расход металла для шпунтовой стенки с контрфорсами приведен для двух конструктивных элементов: для лицевой стенки и для контрфорса; максимальный момент, профиль шпунта и расход металла для экранированной стенки приведен для двух конструктивных элементов: для лицевой (и анкерной) стенки и экранированного ряда соответственно.

При соблюдении условий сопоставимости, рассмотренное новое усовершенствованное конструкторское решение причала обеспечивает уменьшение расхода материала примерно на 12 %.

Вывод. Использование поперечных шпунтовых рядов (контрфорсов) позволяет конструкции причала воспринимать значительные горизонтальные и вертикальные нагрузки, уменьшает активное давление грунта засыпки, а также увеличивает жесткость сооружения. При этом можно заметить, что контрфорсы будут больше подвержены деформациям, чем лицевая стенка, которая будет выполнять оградительные функции. В связи с этим представляется целесообразным выполнение контрфорсов из шпунта более высокого профиля, чем профиль шпунта для лицевой стенки. Такой подход позволяет оптимально использовать несущую способность каждого конструктивного элемента сооружения и снизить его материалоемкость в целом.

Таким образом, конструкцию причального сооружения инновационного типа можно будет применять для создания экономичного глубоководного причала, который сможет принимать современные суда с большим дедвейтом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ильницький К. Самые глубоководные... / К. Ильницький // Порты Украины. – 2008. – № 2 (74). – С. 22-27.*
2. *Станков Ю. С глубиной 20 м и более / Ю. Станков // Порты Украины. – 2008. – № 2 (74). – С. 65-67.*
3. *Патент № 84888. Україна. МПК(2006) E02D 29/2, E02B 3/06. Підпірна стінка / Г.В. Слободяник, М.П. Дубровський // Одеський національний морський університет. – Заяв. 29.05.2006. Від 10.12.2008. – Бюл. № 23. – 4 с.*
4. *Слободяник А.В. Усовершенствованное конструкторско-технологическое решение шпунтовой стенки повышенной жесткости / М.П. Дубровский, О.В. Казмирук, А.В. Слободяник // 36. наук. прац. – Полтава, 2003. – Вып. 12. – С. 62-69.*

5. Дубровский М.П. Эффективный тандем/ М.П. Дубровский // Порты Украины. – 2008.– № 2 (74) . – С. 34-38.
6. Слободяник А.В. Исследование давления грунта на шпунтовую стенку с ребрами жесткости / М.П. Дубровский, А.В. Слободяник // Вісник Одеського національного морського університету. – Одеса: ОНМУ, 2005. – № 16. – С.146-156.

Стаття надійшла до редакції 14.12.2015

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри Основ і фундаментів Одеської державної академії будівництва та архітектури
А.В. Гришин

доцент кафедри «Морські і річкові порти, водні шляхи та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету
Т.І. Золотова

УДК 621.873.254

П.М. Стрельцов

МЕТОДИ ЧИСЕЛЬНОГО РІШЕННЯ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ЗАДАЧ УПРАВЛІННЯ ЛЕГКИМИ МОСТОВИМИ КРАНАМИ З ГНУЧКИМ ПІДВІСОМ ВАНТАЖУ

Запропоновано чисельний метод розрахунку оптимального управління легким мостовим краном при переносі вантажу на підвісі змінної довжини. Виконано аналіз, що підтверджує достовірність отриманих за допомогою метода рішень. Результати рішень можуть бути використані при виборі способів та технічного обладнання для автоматичного гасіння коливань вантажу, що виникають при його переміщенні.

Ключові слова: *легкий мостовий кран, оптимальне управління, гасіння коливань вантажу, підвіс змінної довжини.*

Предложен численный метод расчета оптимального управления легким мостовым краном при переносе груза на подвесе переменной длины. Выполнен анализ, подтверждающий достоверность получаемых при помощи метода решений. Результаты решений могут быть использованы при выборе способов и технических средств автоматического гашения колебаний груза, возникающих при его перемещении.

Ключевые слова: *легкий мостовой кран, оптимальное управление, гашение колебаний груза, подвес переменной длины*

Method of numerical calculation of optimal control for light bridge crane transported load on the rope with varying length is proposed. The investigation, confirmed the reliability of found by method solutions, is performed. The results of such solutions can be used at choice of ways and technical devices for automatic damping of load sways which arise during its transference.

Keywords: *light bridge crane, optimal control, load sway damping, varying rope length.*

Вступ. У сучасних морських портах широко використовуються кранові перевантажувальні установки, що переносять вантажі на гнучкому канатному підвісі. При перенесенні виникають інтенсивні коливання вантажу, які істотно ускладнюють управління краном. Для їх гасіння, що необхідно для точного укладення вантажу в потрібне місце, доводиться витрачати (як показують натурні дослідження) до 40 % часу робочого циклу.

На введених останнім часом в експлуатацію великих грейферних та контейнерних перевантажувачах встановлені, як правило, автоматичні «електронні» системи гасіння коливань [1; 3], що забезпечують такий характер руху точки підвісу, при якому коливання вантажу виявляються погашеними при його наблизенні до кінцевого пункту шляху.

Закони управління механізмами крана, що забезпечують гасіння коливань, розраховуються заздалегідь і розміщуються в пам'яті ЕОМ, яка контролює їх виконання.

Оскільки основною метою управління краном є досягнення максимальної продуктивності, бажано, щоб реалізовані закони (управління) руху механізмів були оптимальними за швидкодією (часом). Такі управління можуть мати складну структуру, а їх реалізація – вимагати складних і дорогих пристроїв.

Можна вказати інші, не оптимальні за часом, але більш зручні для здійснення методи гасіння. Однак при вирішенні питання про застосування того чи іншого методу необхідно визначити, чи будуть виправданими пов'язані з цим методом втрати продуктивності.

Нижче розглянуті методи пошуку оптимальних управлінь порівняно простими вантажопідйомними механізмами – легкими мостовими кранами і самохідними талями. Відпрацьовані для таких машин методи розрахунку і оцінки одержуваних результатів можуть бути після відповідного доопрацювання використані для визначення оптимальних або близьких до них управлінь великими перевантажувальними установками і забезпечити значний економічний ефект.

Малі вантажопідйомні машини представляють інтерес не тільки як своєрідні фізичні моделі великих перевантажувачів. Їх часто включають до складу машин, що виконують певний технологічний процес (наприклад, в АСУТП на складальних виробництвах). Оптимізація їх роботи може сприяти підвищенню ефективності всієї автоматичної лінії.

Постановка задачі. Для руху малих вантажопідйомних машин характерно практично повна відсутність перехідних процесів, тобто при включенні двигуна механізм практично миттєво починає переміщатися із заданою постійною швидкістю, а при відключенні двигуна і замиканні гальма він так само миттєво зупиняється і залишається нерухомим (швидкість дорівнює 0). Оскільки швидкість $v(t)$ візка крана можна довільно переключати, цей параметр зручно прийняти як параметр управління.

Зазвичай при управлінні краном знак швидкості намагаються не міняти, допускаючи переміщення тільки в бік кінцевого положення. При цьому обмеження, накладені на параметр управління властивостями приводу і умовами роботи машини, мають вигляд

$$0 \leq v(t) \leq V, \quad (1)$$

де V – максимальна швидкість візка.

Для скорочення робочого циклу горизонтальний рух візка намагаються поєднувати з вертикальним переміщенням вантажу. При цьому змінна довжина підвісу, враховуючи властивості приводу і умови роботи машини, може бути задана як функція часу $L(t)$.

Розрахункову схему талі прийнято зображати [2; 3; 4] у вигляді двомасової системи (див. рис. 1), що складається з візка, що рухається

горизонтально, і прикріпленого до нього на гнучкому підвісі вантажу, що переміщається під дією зусилля в підвісі.

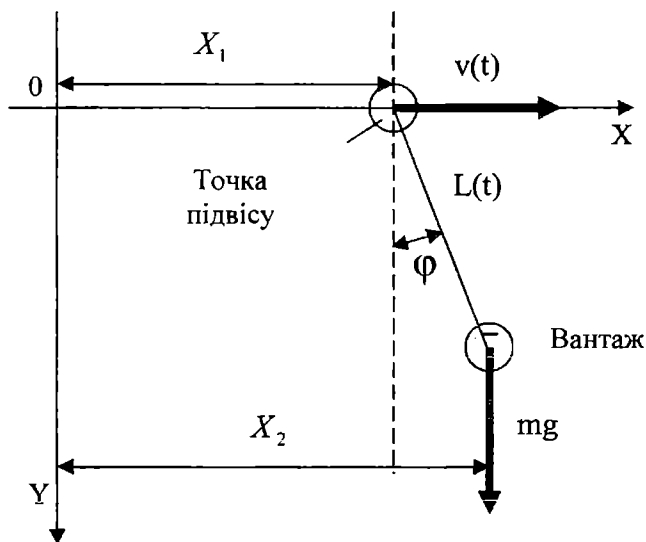


Рис. 1. Розрахункова схема системи візок-вантаж

Якщо в якості параметрів, що визначають стан системи (її фазових координат) використовувати: X_1 – переміщення (шлях) візка; X_2 – горизонтальне переміщення вантажу; X_3 – горизонтальну швидкість вантажу, то рівняння руху матеріальної системи (її математичну модель) можна записати у вигляді трьох диференціальних рівнянь першого порядку [4]

$$X_1' = v(t); X_2' = X_3; X_3' = g(X_1 - X_2)/L(t). \quad (2)$$

Метою управління системою є її переміщення з одного стану спокою в інший стан спокою же, віддалений від початкового на заданій відстані S . Якщо тривалість переміщення дорівнює T , то початкове і кінцеве положення системи можна описати у наступному вигляді:

$$\text{початкове положення} - X_1(0) = 0; \quad X_2(0) = 0; \quad X_3(0) = 0; \quad (3)$$

$$\text{кінцеве положення} - X_1(T) = S; \quad X_2(T) = S; \quad X_3(T) = 0. \quad (4)$$

Оптимальну задачу з пошуку управління візком можна сформулювати наступним чином.

Визначити оптимальне управління $v^*(t)$, що переводить матеріальну систему, задану математичною моделлю (2), з початкового положення (3) в кінцеве положення (4) при дотриманні обмеження (1) на параметр управління за найкоротший час.

Зміст і результати дослідження. Розглянута задача відноситься до класу оптимальних задач з обмеженнями на шуканий параметр управління. Рішення таких задач зручно визначити, використовуючи методику, розроблену на базі теорії оптимального управління, відомої як «принцип максимуму» Понтрягіна [6]. Відповідно до цієї методики на основі рівнянь математичної моделі складається функція Гамільтона H , що має для системи (2) вид

$$H = \sum \varphi_i X_i' = \varphi_1 V + \varphi_2 X_3 + \varphi_3 g(X_1 - X_2) / L(t). \quad (5)$$

Допоміжні функції φ_i , що включаються до гамільтоніану H , визначаються за формулами

$$\varphi_i = -\frac{\partial H}{\partial X_i} \quad (6)$$

і мають вигляд

$$\varphi_1' = -\varphi_3 g / L(t); \quad \varphi_2' = \varphi_3 g / L(t); \quad \varphi_3' = -\varphi_2. \quad (7)$$

Із системи (7) для допоміжної функції φ_1 отримаємо

$$\varphi_1^{(3)} + 2\varphi_1'' L' / L(t) + \varphi_1' g / L(t) = 0. \quad (8)$$

Розглянемо метод пошуку оптимального управління візком при переміщенні вантажу *на підвісі постійної довжини*, коли рівняння (8) приймає вигляд

$$\varphi_1^{(3)} + k^2 \varphi_1' = 0, \quad (9)$$

де $k^2 = g / L$.

Вирішення цього однорідного лінійного диференціального рівняння таке:

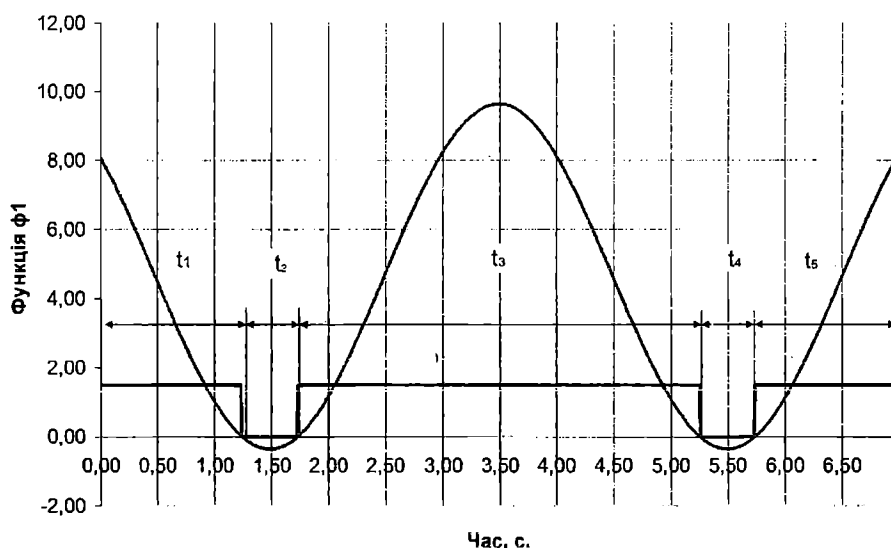
$$\begin{aligned} \varphi_1 &= A \sin(kt + \alpha) + B; & \varphi_1' &= Ak \cos(kt + \alpha); \\ \varphi_1'' &= -Ak^2 \sin(kt + \alpha), \end{aligned} \quad (10)$$

де α – початкова фаза функції φ_1 ;

A – амплітуда функції φ_1 ;

B – вертикальне зміщення осі синусоїди щодо осі абсцис.

Приблизний графік допоміжної функції φ_1 представлений на рис. 2.



*Рис.2. Графік допоміжної функції
при постійній довжині підвісу та $\tau \leq T \leq 2\tau$*

Відповідно до «принципу максимуму» оптимальна функція $v^*(t)$ повинна приймати такі значення, при яких досягає максимуму гамильтоніан H . З рівняння (5) можна зробити висновок, що на ділянках функції φ_1 , розташованих над віссю абсцис (коли значення φ_1 позитивні), управління $v^*(t)$ повинно мати максимальне значення (у нашому випадку $v^*(t)=V$), на ділянках функції φ_1 , розташованих під віссю часу, управління повинно мати нижнє екстремальне значення $v^*(t)=0$.

Таким чином, оптимальне управління $v^*(t)$ досліджуваною матеріальною системою є кусково-постійною функцією, що складається з ряду інтервалів сталості, на кожному з яких функція $v^*(t)$ зберігає граничне (максимальне $v(t) = V$ або мінімальне $v(t) = 0$) значення.

«Принцип максимуму» дозволяє отримати уявлення лише про загальний вигляд оптимального управління. Однак кількість його інтервалів і їх тривалості повинні визначатися окремо.

З цією метою розглянемо характер коливань вантажу на підвісі постійної довжини при оптимальному управлінні.

Оскільки прискорення точки підвісу дорівнює нулю $X_1'' = 0$, третє рівняння математичної моделі (2) можна переписати у вигляді

$$X_1'' - X_2'' = -(X_1 - X_2)g/L. \quad (11)$$

Позначивши $y = X_1 - X_2$, $k^2 = g/L$, отримаємо

$$y'' + k^2 y = 0. \quad (12)$$

Вирішення цього лінійного однорідного диференціального рівняння має вигляд

$$y = A \cos kt + B \sin kt, \quad (13)$$

$$\dot{y} = -Ak \sin kt + Bk \cos kt. \quad (14)$$

Так як рух системи починається зі стану спокою, коли відхилення $y(0) = 0$, а швидкість відхилення $\dot{y}(0) = -V$, для постійних інтегрування A і B , отримаємо

$$A = 0, \quad B = -V/k.$$

Рух вантажу відносно точки підвісу при цьому буде описуватися рівняннями

$$y = -(V/k) \sin kt, \quad \dot{y} = -V \cos kt. \quad (15)$$

Тобто, при русі точки підвісу з постійною швидкістю V , вантаж буде здійснювати гармонічні коливання відносно вертикалі, що проходить через точку підвісу (рівноважного положення $y = 0$). Період коливань

$$\tau = 2\pi/k = 2\sqrt{L},$$

амплітуда відхилень

$$y = V/k.$$

Функція φ_1 (див. рис. 2) представляє з себе синусоїду з періодом, рівним періоду коливань вантажу

$$\tau = 2\pi/k = 2\sqrt{L}.$$

У кожній точці перетину графіком φ_1 осі часу проводиться перемикання управління.

Таким чином, число перемикань оптимального управління залежить від тривалості T переміщення системи. Якщо $T \leq \tau$, графіком φ_1 буде неповна хвиля синусоїди, що перетинає вісь часу лише в двох точках, а управління буде складатися тільки з трьох інтервалів. При $\tau \leq T \leq 2\tau$ графік φ_1 буде включати цілу хвилю синусоїди і перетинати вісь часу в чотирьох точках, а управління буде складатися з п'яти інтервалів. При $2\tau \leq T \leq 3\tau$ управління буде містити вже сім інтервалів і т.д.

Розглянемо метод визначення часових параметрів управління (числа і тривалості інтервалів) для наступних геометричних умов руху: довжина підвісу $L = 4$ м; період коливань $= 4$ с; максимальна швидкість візка $V = 0,3$ м/с; дальність переміщення візка $S = 1,8$ м.

У цьому випадку сумарна тривалість інтервалів, на яких відбувається рух візка, дорівнює $S/V = 1,8/0,3 = 6$ с. Тобто час переміщення $\tau \leq T \leq 2\tau$, і при цьому, як сказано вище, графік функції перетинатиме вісь часу в чотирьох точках, а число інтервалів сталості управління – дорівнюватиме п'яти.

Оскільки початкові і кінцеві умови руху симетричні, графіки оптимального управління $v^*(t)$ і функції φ_1 , що його визначає, будуть симетричними відносно вертикалі, що проходить через середину графіків (див. рис. 2). Якщо позначити тривалості першого і другого інтервалів через t_1 і t_2 , то тривалість третього (середнього) інтервалу буде $t_3 = \tau - t_2$, передостаннього, четвертого інтервалу – $t_4 = t_2$, а п'ятого – $t_5 = t_1$.

Оскільки переміщення візка здійснюється тільки на непарних інтервалах, їх сумарна тривалість повинна дорівнювати 6 с

$$t_1 + t_3 + t_5 = t_1 + \tau - t_2 + t_1 = S/V = 6 \text{ с}, \quad (16)$$

звідки

$$t_2 = 2t_1 - 2. \quad (17)$$

Для матеріальних систем, подібних досліджуваних, рух яких описується лінійними диференціальними рівняннями, можливе застосування принципу суперпозиції, згідно з яким загальний характер коливань вантажу є сумою коливань, що виникають в моменти перемикання параметру управління.

У кінцевій точці шляху система повинна бути в стані спокою, тобто величина відхилення і швидкість його зміни повинні дорівнювати нулю.

Використовуючи принцип суперпозиції, для величини відхилення в момент T закінчення руху з урахуванням виразу (17) можна записати

$$\begin{aligned} y(T)k/V &= -\sin k(2t_1 + \tau + t_2) + \sin k(t_1 + t_2 + \tau) - \sin k(\tau + t_1) + \\ &+ \sin k(t_2 + t_1) - \sin kt_1 + \sin k \cdot 0 = \\ &= -\sin k(4t_1 - 2) + \sin k(3t_1 - 2) - \sin kt_1 + \sin(3t_1 - 2) - \sin kt_1 + \sin k \cdot 0 = \\ &= -\sin k(4t_1 - 2) + 2\sin k(3t_1 - 2) - 2\sin kt_1 + \sin k \cdot 0 = 0. \end{aligned} \quad (18)$$

Для швидкості зміни відхилення в момент T після диференціювання отримаємо

$$y'(T)/V = -\cos k(4t_1 - 2) + 2\cos k(3t_1 - 2) - 2\cos kt_1 + \cos k \cdot 0 = 0. \quad (19)$$

Для вирішення отриманих тригонометричних рівнянь можна використати досить простий чисельний метод, який полягає в зміні від нуля з деяким раціональним кроком величини t_1 і розрахунку для кожного її значення сум (18) і (19). Як рішення приймають значення, при якому обидві суми одночасно досить близько підійдуть до нуля. Виконані розрахунки показали, що ця умова виконується при $t_1 = 1,25$ с.

Тривалості подальших інтервалів такі:

$$\begin{aligned} \text{другого інтервалу} & \quad t_2 = 0,5 \text{ с,} \\ \text{третього (середнього)} & \quad t_3 = 3,5 \text{ с,} \\ \text{четвертого інтервалу} & \quad t_4 = 0,5 \text{ с,} \\ \text{п'ятого інтервалу} & \quad t_5 = 1,25 \text{ с.} \end{aligned}$$

Побудовані за результатами розрахунку графіки допоміжної функції і оптимального управління представлені на рис. 2.

Для визначення положення графіка функції φ_1 щодо осі часу можна використовувати інший спосіб, що має більш загальний характер.

Цей спосіб може бути застосований для розрахунків оптимального управління і в тих випадках, коли функція φ_1 описується нелінійними диференціальними рівняннями (наприклад, для випадку руху крана із змінною довжиною підвісу).

Відповідно до цього способу вигляд і розташування графіка функції φ_1 щодо осі часу визначається в результаті чисельного інтегрування диференціального рівняння (8).

Для цього введемо додаткові змінні

$$f_1 = \varphi_1; \quad f_2 = \varphi_1'; \quad f_3 = \varphi_1''. \quad (20)$$

і запишемо рівняння (9) в нормальній формі:

$$\begin{aligned} f_1' &= f_2; \\ f_2' &= f_3; \\ f_3' &= -f_2 g / L. \end{aligned} \quad (21)$$

Для початкових значень функцій $f_1; f_2; f_3$, використовуючи рівняння (10), можна отримати

$$f_1(0) = A \sin \alpha + B; \quad f_2(0) = A k \cos \alpha; \quad f_3(0) = -k^2 \sin \alpha. \quad (22)$$

Як вказувалося, бажане управління повинно перемістити візок на задану відстань з одночасним гасінням коливань вантажу до приходу в кінцеву точку шляху. Якість управління визначають по інтенсивності залишкових (після зупинки візка) коливань вантажу. Для оцінки інтенсивності залишкових коливань можна використовувати їх енергію, пропорційну величині E , що розраховується за формулою

$$E = X_3(T)^2 + g(X_1(T) - X_2(T))^2 / L(T), \quad (23)$$

де перший доданок пропорційний кінетичній енергії, а другий – потенційній енергії відхиленого від вертикалі вантажу.

Якщо в якості критерію оптимальності прийняти енергію залишкових коливань, а в якості цільової функції використовувати вираз (23), можна сформулювати наступну оптимальну задачу.

Відшукати значення параметрів A , B і α , що визначають функцію φ_1 , описувану рівнянням (9), і відповідне до цієї функції згідно з «принципом максимуму» управління, при якому матеріальна система, задана математичною моделлю (2), пересувається на необхідну відстань S таким чином, що цільова функція E , пропорційна енергії залишкових коливань вантажу, виявляється рівною (або досить близькою) нулю.

Таким чином, вихідна задача про пошук оптимальної функції управління звелася до задачі про пошук значень трьох змінних (координат) A , B і α , при яких досягає екстремуму (мінімуму) цільова функція E .

Розрахунок величини цільової функції E , що відповідає певному набору значень трьох зазначених змінних, здійснюється в результаті порівняно складної процедури, що полягає в одночасному інтегруванні рівнянь математичної моделі (2) досліджуваної матеріальної системи і диференціальних рівнянь (21) допоміжної змінної φ_1 гамільтоніану H . По ходу такого інтегрування знаходять точки перетину графіком функції φ_1 осі часу і виробляють потрібні перемикання управління. Інтегрування проводять від початкового положення системи до моменту приходу візка в кінцеву точку. Потім обчислюють за формулою (23) значення цільової функції E , після чого приймають рішення про характер змін координат A , B і α для використання на наступній ітерації процесу розрахунку.

Загальна послідовність пропонованого рішення сформульованої задачі відповідає чисельному методу «покоординатного спуску» вирішення екстремальних задач. Відповідно до алгоритму цього методу, викладеному, наприклад, в [7], складена програма визначення оптимального управління досліджуваної системою.

За допомогою програми були виконані розрахунки допоміжної функції φ_1 , оптимального управління та параметрів руху матеріальної системи (2) для тих же геометричних умов руху, що і в попередньому випадку. Як виявилось, ітераційний процес пошуку екстремуму цільової

функції E , що передбачається даним методом і програмою, досить швидко сходиться.

Необхідно відзначити, що запропонований метод розрахунку (що має більш широку сферу застосування) є досить трудомістким, передбачає використання складних програм і значних обсягів обчислювальних робіт, що може викликати сумніви в правильності одержуваних рішень. Для усунення можливих сумнівів новий метод доцільно ретельно перевірити, наприклад, порівнюючи отримані за його допомогою результати з результатами, отриманими іншим методом, добре відпрацьованим і надійним.

На рис. 3 показані графіки, побудовані на підставі виконаних за вказаною програмою розрахунків наступних параметрів матеріальної системи (2): 1 – оптимальне управління візком (його швидкість); 2 – абсолютна швидкість вантажу; 3 – відхилення вантажу від рівноважного положення; 4 – довжина підвісу; 5 – шлях візку; 6 – шлях вантажу; 7 – допоміжна функція φ_1 гамільтоніана H . Для зручності користування рисунком графіки швидкості візка і вантажу, а також графік відхилення вантажу дані в збільшеному масштабі.

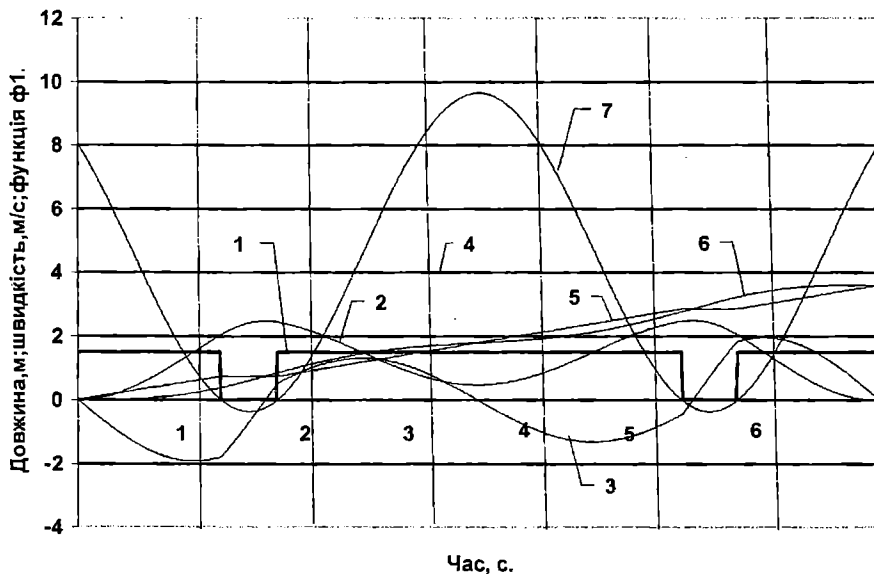


Рис. 3. Графіки параметрів руху системи візок-вантаж при оптимальному управлінні і постійній довжині підвісу

Як видно з рисунків 2 і 3 результати розрахунків тривалості окремих інтервалів оптимального управління обома методами (тим, що розглядається, і описаним раніше) збігаються.

Тобто, другий метод, що не вимагає лінійності рівнянь математичної моделі системи, дозволяє отримати досить достовірні результати і може бути застосований і в більш складних випадках.

Розглянемо використання даного методу при знаходженні оптимального управління візком при переміщенні вантажу *на підвісі змінної довжини* (коли рівняння функції φ_1 не лінійні, і перший з розглянутих методів непридатний) для наступних геометричних параметрів руху:

- шлях візка $S. = 1,8$ м;
- обмеження на параметр управління (швидкість візка) $0 < v(t) < V$, ($V = 0,3$ м / с);
- початкова довжина підвісу становить $L(0) = 4$ м;
- довжина підвісу змінюється від початкового значення з постійною швидкістю рівною $-0,2$ м/с і може бути задана як функція часу $L(t) = 4 - 0,2 t$.

В даному випадку при визначенні положення графіка допоміжної функції φ_1 в її рівняння (8) необхідно включити члени, що відображають характер зміни довжини підвісу. Запис цього рівняння в нормальній формі при введенні змінних (20) буде мати вигляд

$$f_1' = f_2;$$

$$f_2' = f_3; \quad (24)$$

$$f_3' = -2f_3L'(t)/L(t) - f_2g/L(t).$$

Початкові значення функцій $f_1(0); f_2(0); f_3(0)$ можна розрахувати за тими ж формулами (22), де $k^2 = g/L(0)$

Для визначення оптимального управління візком при зазначених геометричних умовах були використані той же алгоритм і та ж програма, відкориговані з урахуванням характеру змін довжини підвісу.

На рис.4 представлені побудовані на основі розрахунків по складеній програмі графіки зміни параметрів руху при оптимальнім управлінні і змінній довжині підвісу. Тут використані ті ж позначення, що і на рис. 3.

Графіки підтверджують ефективність розглянутого способу і складеної на його основі програми, що дозволяють відшукувати управління досліджуваної матеріальної системою (візком з вантажем на підвісі змінної довжини), що відповідають необхідній умові оптимальності за швидкодією, сформульованій «принципом максимуму».

Як видно з рисунка, допоміжна функція φ_1 має коливальний характер і може багаторазово перетинати вісь часу. Кількість точок перетину функцією φ_1 цієї осі, а, отже, і число інтервалів і перемикань оптимального управління збільшується при зростанні тривалості T управління (і необхідного шляху візка) і може бути достатньо великим, що, можливо, викличе труднощі при його реалізації.

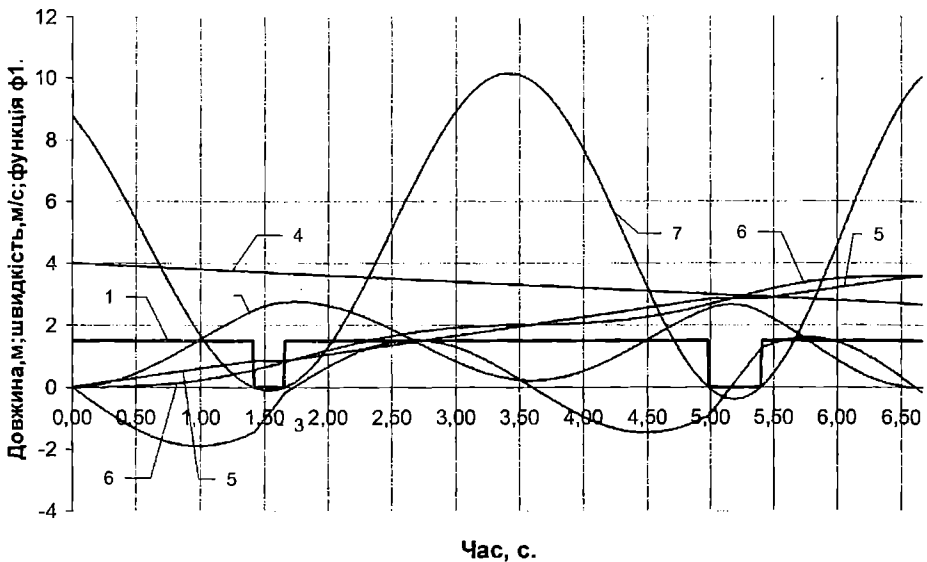


Рис. 4. Графіки параметрів руху системи візок-вантаж при оптимальній управлінні і змінній довжині підвісу

Для прийнятих геометричних умов руху число інтервалів сталості управління виявилось рівним п'яти. На відміну від попереднього випадку вони мають різні тривалості. Загальна тривалість управління склала 6,66 с.

Переміщення візка супроводжується інтенсивним розгойдуванням вантажу з максимальною амплітудою коливань, що дорівнює 0,2 м.

Можна запропонувати інший, більш простий і зручний для реалізації вид управління, при якому гасіння коливань оптимальним чином виконується тільки на ділянках розгону і гальмування. При такому, квазі-оптимальному, управлінні на більшій частині шляху вантаж переміщується синхронно з візком без розгойдування.

Таке управління при будь-якій величині переміщення має тільки п'ять інтервалів сталості, тривалості яких можуть бути розраховані відповідно до алгоритму, описаному в роботі [5]. За складеною на основі цього алгоритму програмою було розраховано квазіоптимальне управління для тих же геометричних умов, що і в попередній задачі.

За результатами розрахунку складені показані на рис. 5 графіки параметрів руху системи візок-вантаж при квазіоптимальному управлінні. Позначення окремих параметрів такі ж, як і на рис. 3.

Як видно з рисунка, при такому управлінні рух візка можна розділити на три етапи. На першому етапі, що складається з двох інтервалів сталості, здійснюється розгін вантажу до горизонтальної швидкості V . Тривалість першого етапу дорівнює 1,3 с. Максимальне відхилення вантажу на цьому етапі становить 0,16 м.

На другому етапі візок і вантаж рухаються з однаковою горизонтальною швидкістю, без розгойдування вантажу. Вантаж продовжує вертикальне переміщення.

На третьому етапі виконується маневр, що також включає два інтервали і забезпечує гальмування вантажу до моменту приходу візка в кінцеву точку шляху до швидкості рівної нулю. Тривалість третього етапу дорівнює 1,0 с. Максимальне відхилення вантажу на цьому етапі становить 0,12 м.

Загальна тривалість переміщення вантажу при такому управлінні дорівнює 7,2 с.

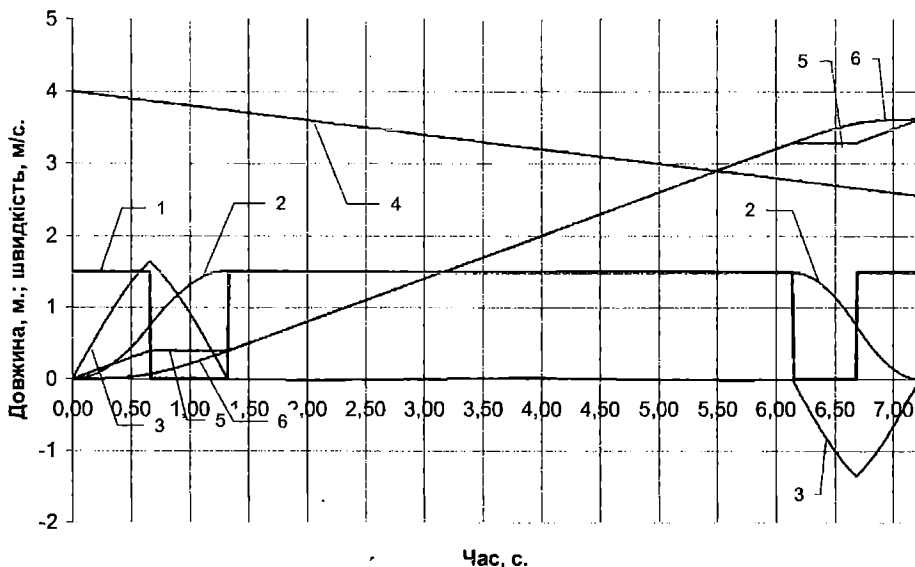


Рис. 5. Графіки параметрів руху системи візок-вантаж при квазіоптимальному управлінні і змінній довжині підвісу

Таким чином, квазіоптимальне управління на своїх окремих етапах має просту структуру, яка допускає більш зручну реалізацію. Ще однією перевагою такого управління є невелика інтенсивність розгойдування і малі пов'язані з ним динамічні навантаження на деталі машини (що сприяє підвищенню їх довговічності). Однак за головним показником – швидкістю – квазіоптимальне управління помітно поступається строго оптимальному (тривалість переміщення вантажу при оптимальному управлінні складає 6,66 с, а при квазіоптимальному – 7,2 с, що на 8 % більше).

Висновки

1. Розглянуто чотири методи розрахунку оптимального управління легкими мостовими кранами при перенесенні вантажу на гнучкому підвісі.

Перший метод призначений для розрахунків управління тільки при перенесенні вантажу на підвісі постійної довжини. У цьому випадку математична модель крана може бути представлена системою лінійних диференціальних рівнянь, що дозволяє оцінити загальний характер допоміжної функції φ_1 гамільтоніана аналітично, а її розташування відносно осі часу, що визначає структуру оптимального управління, уточнюється вельми простим чисельним методом.

2. Другий метод передбачає чисельне інтегрування диференціального рівняння допоміжної функції φ_1 одночасно з рівняннями математичної моделі системи візок-вантаж. Результати рішення оптимальної задачі для одних і тих же геометричних умов обома методами збігаються. Це дає можливість стверджувати, що результати, які отримуються на основі другого методу є достовірними.

3. Третій метод є модифікацією другого, пов'язаної з урахуванням суміщення робочих рухів, і може бути використаний також при розрахунку оптимального управління візком при переміщенні ним вантажу на підвісі змінної довжини. Метод дозволяє відшукати управління, яке задовольняє необхідним умовам оптимальності.

4. Для оцінки ефективності оптимального управління запропоновано ще один (четвертий) метод, що дозволяє знайти управління, яке теж забезпечує гасіння коливальних вантажу при змінній довжині підвісу. Метод передбачає оптимізацію управління візком тільки на етапах розгону і гальмування вантажу, коли проводиться гасіння його коливальних. Таке управління має просту структуру і може виявитися зручним для реалізації. Однак при ньому тривалість переміщення в порівнянні зі строго оптимальним управлінням зростає в середньому на 8 %. Це може мати вирішальне значення при виборі управління, що підлягає реалізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bao Qifan. *Research and development of automatic bulk cargo equipment in modern ports // Port Technology International*. – 2009. – Vol. 41. – P. 88-93.
2. Черноусько Ф.Л. *Управление колебаниями / Ф.Л. Черноусько, Л.Д. Акуленко, Б.Н. Соколов*. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
3. Verschoof J. *Cranes – Design, Practice and Maintenance (Chapter 6. Sway and Swing; Automation the trolley travelling mechanism) // Professional Engineering Publishing*. – 2002. – P. 167-173.
4. Стрельцов П.М. *Гашение колебаний груза при его перемещении на подвесе переменной длины // Вісник ОНМУ, 2012*. – № 35. – С. 179-189.

5. *Streltsov P. Time optimal control of light crane transported load on the rope with varying length. Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2014. – Вип. 1 (21). – С. 202-215.*
6. *Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. – М.: Наука, 1969. – 408 с.*
7. *Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1988. – 545 с.*

Стаття надійшла до редакції 24.12.2015

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання» Одеського національного морського університету, директор спеціалізованого експертно-технічного центру «ДІАЛАБ» **В.М. Пустовий**

кандидат технічних наук, професор кафедри «Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання» Одеського національного морського університету **Н.Ф. Зубко**

УДК 626.823.5

Р.В. Синица, К.И. Анисимов

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В НИЖНЕМ БЪЕФЕ
НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЩИТОВЫХ ЗАТВОРОВ
НА ВОДОПРОПУСКНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ**

В работе рассмотрены вопросы контроля параметров пропускной способности шлюза-регулятора. В связи с тем, что данная величина является переменной, которая зависит от двух переменных параметров: высоты открытия щитового затвора и уровня воды за сооружением. В статье опубликованы результаты решения поставленной задачи и представлены кривые пропускной способности.

Ключевые слова: пропускная способность, гидравлический прыжок.

В роботі розглянуті питання контролю параметрів пропускної здатності шлюзу-регулятора. У зв'язку з тим, що дана величина є змінною, яка залежить від двох змінних параметрів: висоти відкриття щитового затвора і рівня води за спорудою. У статті опубліковані результати вирішення поставленого завдання і представлені криві пропускної здатності.

Ключові слова: пропускна здатність, гідравлічний стрибок.

The paper discusses the issues of control parameters bandwidth gateway controller. Due to the fact that the value is a variable that depends on two variables: the height of the opening of the shutter and the shield of the water level structure. The paper published the results of solving the problem, and the curves of bandwidth.

Keywords: passing ability, hydraulic jump.

При проектировании водопропускных гидротехнических сооружений, важным вопросом является установление параметров пропускной способности сооружения при различных уровнях открытия щита, а также при изменяемых уровнях воды за затвором. Целью данной статьи являлось установление зависимостей влияния перечисленных параметров на пропускную способность гидротехнического сооружения.

В качестве примера было рассмотрено сооружение, шлюз-регулятор, расположенный на Северо-Крымском канале, представленное на рис. 1. Водопропускное сооружение состоит из двух щитовых затворов имеющих ширину $b = 12,0$ м, и отверстие около дна русла с изменяемой высотой открытия, через которое происходит истечение потока.

Расчетный напор в верхнем бьефе перед щитом составлял $H = 5,59$ м, а за щитом уровень воды являлся изменяемым в пределах от 0,25 м до 4,00 м.

При несвободном истечении потока, расход воды через щитовой затвор зависит от перепада уровней воды перед затвором и за ним непосредственно в сжатом сечении, значение которого определяется в соответствии с формулой

$$Q = \mu \cdot a \cdot b \sqrt{2g(H_0 - h_z)}. \quad (1)$$

В формулу входят такие параметры как, коэффициент расхода μ , значение которого было определено в соответствии с формулой

$$\mu = \varepsilon \cdot \varphi, \quad (2)$$

где ε – коэффициент, зависящий от отметки уровня воды в верхнем бьефе и высоты открытия щитового затвора, определяемый по формуле

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \sqrt{0.4 \cdot \sin^3 Q \cdot \left(1 + \frac{a}{H}\right)^2}}, \quad (3)$$

где Q – угол между касательной к щиту затвора, при различных отметках открытия и горизонталью, значения углов приведены в таблице 1. Параметр величины открытия щитового затвора принимался переменным в пределах от 0,25 м до 4,0 м.

φ – коэффициент скорости, определяемый в соответствии формулой

$$\varphi = \frac{a}{2 \cdot h_H}, \quad (4)$$

где h_H – уровень воды в нижнем бьефе, значение которого рассматривается переменным;

H_0 – уровень воды в верхнем бьефе с учетом скорости подхода потока;

h_z – глубина над сжатым сечением. Расчетом в связи с переменным уровнем воды в нижнем бьефе сооружения значение, которого принимается равным $h_z = h_H$.

Как и при истечении жидкости через отверстия, за счет инерционных сил поток при выходе из-под щита уменьшает свое сечение, т.е. происходит сжатие его до величины сжатой глубины h_c .

Глубина потока воды в сжатом сечении, определяется в соответствии с формулой [5], которая будет располагаться на расстоянии, определяемом в соответствии с формулой

$$h_c = a \cdot \varepsilon \quad (5)$$

$$l = 0,75 \cdot a. \quad (6)$$

Таблиця 1

Параметры высоты открытия щитового затвора

Номер	Высота открытия щита, м	Угол наклона, град
1	0,25	60
2	0,50	62
3	0,75	64
4	1,00	66
5	1,25	69
6	1,50	71
7	1,75	73
8	2,00	75
9	2,25	77
10	2,50	79
11	2,75	81
12	3,00	83
13	3,25	85
14	3,50	87
15	3,75	89
16	4,00	90

Критическая глубина в водосбросном канале прямоугольного сечения, определяется по формуле

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 \cdot g}} \quad (7)$$

В соответствии с уравнением гидравлического прыжка, зная величину первой сопряженной глубины, h_c была определена величина значения второй сопряженной глубины, в соответствии с формулой

$$h_c'' = \frac{h_c}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_{кр}}{h_c} \right)^3} - 1 \right] \quad (8)$$

Значение высоты водобойной стенки, устанавливалось в соответствии с формулой

$$a_c = \sigma \cdot h_c'' - H_c, \quad (9)$$

где H_c – статический напор на водобойной стенке, определяемый в соответствии с формулой;

V_{co} – средняя скорость перед водобойной стенкой, определяемая в соответствии с формулой

$$H_c = H_{co} - \frac{\alpha \cdot V_{co}^2}{2g} \quad (10)$$

$$V_{co} = \frac{Q}{\sigma \cdot b \cdot h_c''} \quad (11)$$

$$H_{co} = \left(\frac{Q}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3}. \quad (12)$$

Глубина потока непосредственно за щитовым затвором меньше глубины потока в нижнем бьефе h_z определяется в соответствии с формулой

$$h_z = \sqrt{h_n^2 - \frac{2 \cdot Q^2}{g \cdot b^2} \cdot \frac{(h_n - h_c)}{h_n \cdot h_c}}. \quad (13)$$

Водобойную стенку необходимо располагать на расстоянии, определяемом в соответствии с формулой

$$l = 0,75 \cdot l_n, \quad (14)$$

где l_n – длина гидравлического прыжка, определяемая в соответствии с формулой

$$l_n = 2,5 \cdot (1,9h_c'' - h_c). \quad (15)$$

По окончанию проведения расчетов по определению высоты водобойной стенки была определена форма сопряжения, которая будет иметь место непосредственно за стенкой.

В случае наличия двух водосливных отверстий коэффициент бокового сжатия необходимо вычислить по формуле

$$\epsilon' = 1 - 0,2 \cdot \left[\frac{\xi_y + (n-1)\xi_b}{n} \right] \cdot \frac{H_0}{b}, \quad (16)$$

где b – ширина отверстия;

n – число отдельных водосливных отверстий;

ξ_b – коэффициент уменьшения, учитывающий форму быков в плане, принимаемый равным – 0,45;

ξ_y – коэффициент скругления ребер устоев, значение которого равно – 0,70.

Суммарный расход щитового затвора при одновременной работе двух затворов определяется в соответствии с формулой

$$Q_{\text{сум}} = 2 \cdot Q \cdot \varepsilon'. \quad (17)$$

С целью гашения кинетической энергии потока воды в нижнем бьефе, было предусмотрено устройство водобойной стенки. Расчет водобойной стенки заключается в нахождении ее высоты a_c и расстояния от сооружения до водобойной стенки l .

В результате установки водобойной стенки увеличивается глубина подтопления с нижнего бьефа щитового затвора, а при переливе воды через стенку возникает напор над стенкой H_c .

Глубина перед стенкой должна удовлетворять условию: форма сопряжения бьефов должна быть в виде затопленного прыжка

$$a_c + H_c \geq h_c'' \quad (18)$$

Высота водобойной стенки, определялась в соответствии с формулой

$$a_c = \sigma \cdot h_c'' - H_c \quad (19)$$

Полагая, что водобойная стенка незатопленная, напор H_c определяется в соответствии с формулой расхода для водослива. Полный напор на водосливной стенке был определен в соответствии с формулой

$$H_{co} = \left(\frac{Q}{m \cdot b \sqrt{2g}} \right)^2 \quad (20)$$

где m – коэффициент расхода водосливной стенки;

b – ширина водосливной стенки.

Статический напор над водосливной стенкой определялся в соответствии с формулой

$$H_c = H_{co} - \frac{\alpha \cdot V^2}{2g} \quad (21)$$

где V – средняя скорость подхода потока к водосливной стенке, определяемая в соответствии с формулой

$$V = \frac{Q}{\sigma \cdot b \cdot h_c''} \quad (22)$$

В дальнейшем в результате проведенных расчетов было установлено расстояние расположения водобойной стенки и высота ее.

За водобойной стенкой высотой $a_c = 1,5$ м, будет образовываться второй гидравлический прыжок, который также необходимо затопить. В соответствии с представленными расчетами, были определены параметры второго гидравлического прыжка, происходящего за водобойной стенкой.

Полный напор, который будет формироваться, над водобойной стенкой определялся в соответствии с формулой

$$T_0 = T + \frac{V_0^2}{2g} \quad (23)$$

$$T = C_H + H, \quad (24)$$

где C_H – высота водобойной стенки.

В дальнейшем расчеты по определению расположения и высоты водобойного колодца производились в такой же последовательности, как и первой. Высота водобойной стенки составляет $a_k = 1,0$ м.

Таблица 2

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 4,0(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	64,30	113,79
2	3,5	84,24	149,10
3	3,0	109,41	193,65
4	2,5	143,40	253,82
5	2,0	недопустимо	

Таблица 3

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 3,75(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	57,29	101,40
2	3,5	75,07	132,87
3	3,0	97,49	172,56
4	2,5	127,78	226,18
5	2,0	недопустимо	

Таблиця 4

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 3,5(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	50,65	89,65
2	3,5	66,36	117,46
3	3,0	86,19	152,56
4	2,5	112,97	199,96
5	2,0	недопустимо	

Таблиця 5

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 3,25(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	44,37	78,53
2	3,5	58,14	102,90
3	3,0	75,50	133,64
4	2,5	98,97	175,17
5	2,0	недопустимо	

Таблиця 6

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 3,0(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	38,45	68,06
2	3,5	50,38	89,17
3	3,0	65,43	115,81
4	2,5	85,76	151,80
5	2,0	115,55	204,53
6	1,5	недопустимо	

Таблица 7

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 2,75(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	недопустимо	
2	3,5	43,10	76,28
3	3,0	55,97	99,07
4	2,5	73,37	129,86
5	2,0	98,85	174,96
6	1,5	недопустимо	

Таблица 8

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 2,5(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	недопустимо	
2	3,5	36,30	64,25
3	3,0	47,14	83,44
4	2,5	61,79	109,37
5	2,0	83,25	147,35
6	1,5	недопустимо	

Таблица 9

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 2,25(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	недопустимо	
2	3,5	29,99	53,08
3	3,0	38,95	68,94
4	2,5	51,05	90,36
5	2,0	68,78	121,74
6	1,5	недопустимо	

Таблиця 10

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 2,0(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	недопустимо	
2	3,5	24,19	42,82
3	3,0	31,42	55,61
4	2,5	41,18	72,89
5	2,0	55,48	98,20
6	1,5	78,96	139,76
7	1,0	недопустимо	

Таблиця 11

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 1,75(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	недопустимо	
2	3,5	18,92	33,49
3	3,0	24,58	43,50
4	2,5	32,21	57,02
5	2,0	43,40	76,82
6	1,5	61,77	109,33
7	1,0	недопустимо	

Таблиця 12

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 1,5(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	4,0	недопустимо	
2	3,5	14,22	25,16
3	3,0	18,46	32,68
4	2,5	24,20	42,83
5	2,0	32,60	57,71
6	1,5	46,40	82,13
7	1,0	недопустимо	

Таблиця 13

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 1,25(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	3,5	недопустимо	
2	3,0	13,12	23,22
3	2,5	17,20	30,44
4	2,0	23,17	41,01
5	1,5	32,97	58,36
6	1,0	52,39	92,73
7	0,5	недопустимо	

Таблиця 14

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 1,0(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	3,5	недопустимо	
2	3,0	8,64	15,28
3	2,5	11,32	20,03
4	2,0	15,25	26,99
5	1,5	21,70	38,41
6	1,0	34,49	61,04
7	0,5	недопустимо	

Таблиця 15

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 0,75(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	3,5	недопустимо	
2	3,0	4,98	8,81
3	2,5	6,52	11,55
4	2,0	8,79	15,56
5	1,5	12,51	22,14
6	1,0	19,88	35,18
7	0,5	недопустимо	

Таблица 16

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 0,5(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	3,5	недопустимо	
2	3,0	2,27	4,01
3	2,5	2,97	5,26
4	2,0	4,00	7,09
5	1,5	5,70	10,09
6	1,0	9,06	16,03
7	0,5	19,08	33,76

Таблица 17

Параметры пропускной способности

Величина открытия затвора $a = 0,25(м)$			
номер	уровень в Н.Б. (м)	расход воды $Q(м^3 / с)$	
		1 затвор	2 затвора
1	3,0	недопустимо	
2	2,5	0,76	1,39
3	2,0	1,03	1,82
4	1,5	1,46	2,59
5	1,0	2,32	4,11
6	0,5	4,89	8,66
7	0,25	недопустимо	

В связи с тем, что параметр пропускной способности щитового затвора, работающим в затопленном режиме, является переменным и зависящим от двух взаимно несвязных параметров, важным вопросом является контроль, за значениями пропускных расходов. В соответствии с проведенными расчетами были определены значения пропускных расходов щитового затвора, при работе одного щита и двух одновременно, построены графики зависимости пропускных способностей щитового затвора (см. рис. 2), при работе одного и двух затворов при различных высотах открытия и различных уровнях воды в нижнем бьефе.

График пропускной способности при работе одного щитового затвора

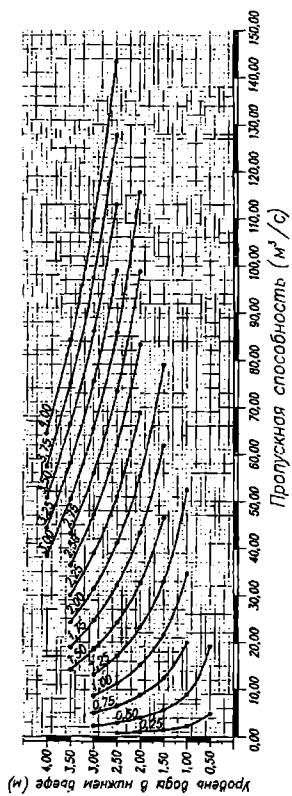


График пропускной способности при работе двух щитовых затворов

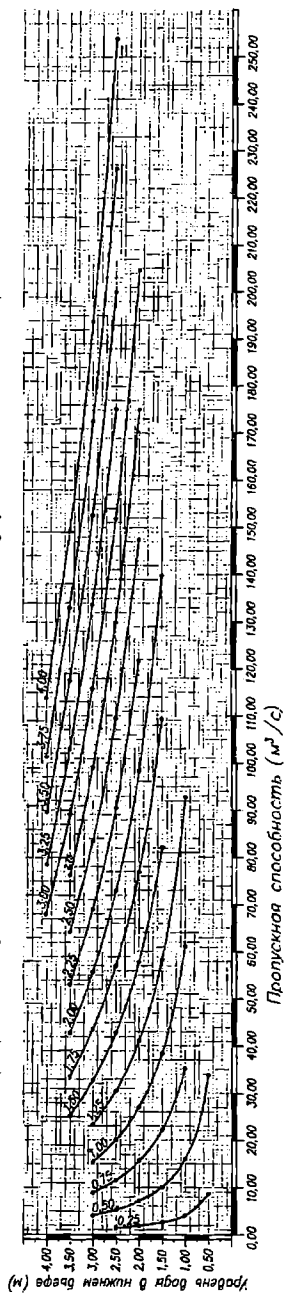


Рис. 2

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Большаков В.А., Константинов Ю.М., Попов В.Н., Нетюхайло А.П., Шеренков И.А., Даденков В.Ю., Клещевникова Т.П., Железняк И.А. *Справочник по гидравлике. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1984. – С. 119-157.*
2. Ухин Б.В., Гусев А.А. *Гидравлика: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2012. – С. 290-334.*
3. Киселев П.Г. *Справочник по гидравлическим расчетам. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1972. – С. 47-60.*
4. Чугаев Р.Р. *Гидравлика. – Л.: Энергоиздат, 1982. – С. 344-389.*
5. Чертоусов М.Д. *Гидравлика. Специальный курс. – М.: Госэнергоиздат, 1962.*
6. Ботук Б.О. *Гидравлика. – М.: Высш. шк., 1962.*

Стаття надійшла до редакції 25.12.2015

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Водовідведення і гідравліка» Одеської державної академії будівництва та архітектури **В.П. Хоружий**

директор проектно-вишукувального інституту «Укрпівддіпро-водгосп» **О.А. Чижик**

УДК 627.51

И.Н. Панова

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОВОЙ НАГРУЗКИ НА ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СКВОЗНОГО ТИПА**

В настоящей статье изложены исследования волновой нагрузки на верхнее строение морских гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: вертикальная составляющая волновой нагрузки, верхнее строение, период, длина и высота волны.

У цій статті викладені дослідження хвильового навантаження на верхню будову морських гідротехнічних споруд.

Ключові слова: вертикальна складова хвильового навантаження, верхня будова, період, довжина і висота хвилі.

In this article real article presented the resuets of research wave loadis on the top part maritime hydraulic constructions by a graphicanalytical method.

Keywords: vertical component of the wave loads, top part, period, length, wave height.

Введение. Одним из малоизученных вопросов является вертикальная составляющая волновой нагрузки, действующая на верхнее строение морских гидротехнических сооружений сквозного типа. Рекомендации по ее определению отсутствуют в нормативных документах страны [1]. К гидротехническим сооружениям сквозного типа относятся причалы и нефтегазопромысловые сооружения на свайном основании, морские эстакады. Учет вертикальной составляющей искомой нагрузки позволит более обосновано принимать размеры надводных частей перечисленных сооружений и тем самым снизить их стоимость.

Постановка задачи. Целью исследований являлось получение расчетных зависимостей для определения вертикальной составляющей волновой нагрузки, действующей на верхнее строение гидротехнических сооружений сквозного типа, на основе анализа и сравнения с экспериментальными данными, полученными ранее [2; 3].

Изложение основного материала. Исследование природы вертикальной составляющей волновой нагрузки выполнялось по нескольким направлениям. Была рассмотрена теория гидравлического удара [4]. Вертикальное волновое давление рассматривалось как дополнительное давление Δp , кПа, возникающее при гидравлическом ударе, и определялось по следующей формуле:

$$\Delta p = \rho c_{yd} v_{cp}, \quad (1)$$

где ρ – плотность воды, т/м^3 ;

$c_{\text{вод}}$, м/с – скорость распространения упругих возмущений в жидкости в направлении, противоположном скорости основного течения, применительно к нашему случаю ее можно было определить из зависимости:

$$c_{\text{вод}} = 3\lambda / T, \quad (2)$$

где λ – длина волны, м ;

T – период волны, с ;

$v_{\text{сп}} = v_z$ – проекция скорости жидкости на вертикальную ось.

Полученные результаты расчета вертикальной составляющей волнового давления с помощью теории гидравлического удара дали очень большое расхождение с экспериментальными данными, что не позволили использовать данную теорию для дальнейших исследований.

Следующее направление в поиске объяснения природы вертикальной составляющей волновой нагрузки, действующей на верхнее строение гидротехнических сооружений, основывалось на предположении, что искомая нагрузка должна быть пропорциональна силе тяжести от веса воды в объеме гребня волны. В этом случае задача сводилась к определению площади профиля гребня с последующим вычислением объема гребня на 1 метр по фронту волны (рис. 1).

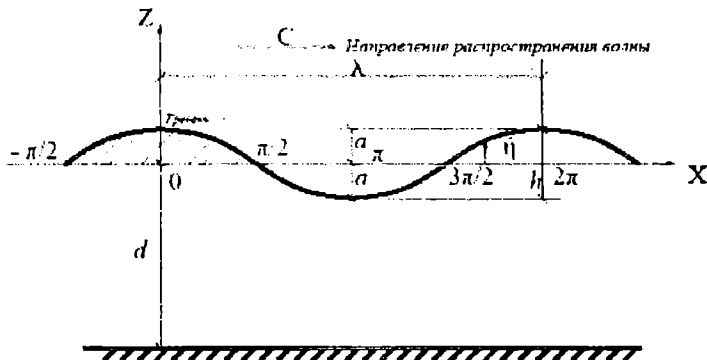


Рис. 1. Профиль синусоидальной прогрессивной волны

Согласно теории волн малой амплитуды [5; 6; 7] функция, описывающая свободную взволнованную поверхность регулярной двумерной волны имеет следующий вид:

$$\eta = a \cos(kx - \omega t) = \frac{h}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T}\right), \quad (3)$$

где η – превышение водной поверхности относительно спокойного уровня воды, м ;

a – амплитуда волны, м ($a = h/2$);

h – высота волны, м;
 ω – частота волны ($\omega=2\pi/T$);
 T – период волны, с;
 k – волновое число ($k=2\pi/\lambda$);
 λ – длина волны, м.

Выражение (3) отображает периодическую, синусоидальную, прогрессивную волну, которая перемещается в положительном x – направлении. Для волны, которая движется в отрицательном x – направлении знак «минус» заменяется на знак «плюс». В эксперименте волна распространялась в отрицательном x – направлении. Поэтому в формуле (3) знак «минус» менялся на знак «плюс». Площадь профиля гребня определялась интегрированием функции (3) по переменной x на промежутке, равном длине полуволны от $\pi/2$ до $-\pi/2$, что соответствовало промежутку времени $t = T/2$

$$\begin{aligned} S &= a \int_{\frac{\pi}{2}}^{-\frac{\pi}{2}} \cos(kx + \omega t) dx = -a \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos(kx + \omega t) dx = \frac{a}{k} \sin(kx + \pi) \Big|_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = \\ &= -\frac{a}{k} \left[\sin\left(\frac{k\pi}{2} + \pi\right) - \sin\left(-\frac{k\pi}{2} + \pi\right) \right] = \\ &= \frac{2a}{k} \sin \frac{k\pi}{2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Подставив в формулу (4) значение k , была получена следующая зависимость для определения площади профиля гребня волны S , м²:

$$S = \frac{a\lambda}{\pi} \sin \frac{\pi}{2} = \frac{a\lambda}{\pi} = \frac{h\lambda}{2\pi}. \quad (5)$$

Вес воды в объеме гребня шириной $b = 1$ метр по фронту волны с учетом формулы (5) составил

$$P_{\Gamma} = \frac{h\lambda}{2\pi} b \rho g = \frac{h\lambda}{2\pi} 1 \rho g, \quad (6)$$

ρ – плотность воды, т/м³.

Искомая вертикальная составляющая волновой нагрузки определялась на основе зависимости (6) с учетом корректирующего коэффициента k_p , полученного на основе сравнения величины веса воды в гребне и значения равнодействующей вертикальной составляющей волновой нагрузки, полученной экспериментально (табл.1)

$$P_z = \frac{h\lambda}{2\pi} 1 \rho g k_p. \quad (7)$$

Таблиця 1

Значения коэффициента k_p

Δ/a	№ опыта	$P_{\text{эксперим.}}$	P_T	$k_p = P_{\text{эксперим.}}/P_T$
0,56	2	0,349	0,392	0,9
0,64	12	0,309	0,461	0,67
0,65	7	0,338	0,510	0,66
0,69	8	0,326	0,481	0,68
0,73	1	0,235	0,343	0,69
0,75	6	0,286	0,442	0,65
0,78	3	0,300	0,491	0,61
0,79	11	0,246	0,373	0,67
0,85	10	0,151	0,343	0,44
0,86	4	0,128	0,392	0,33
0,88	9	0,217	0,549	0,40
0,89	13	0,116	0,412	0,28

С помощью метода наименьших квадратов [8; 10] было получено уравнение кубической регрессии для определения коэффициента k_p (8)

$$k_p = -58,3693\left(\frac{\Delta}{a}\right)^3 + 123,9126\left(\frac{\Delta}{a}\right)^2 - 87,9252\frac{\Delta}{a} + 21,5155, \quad (8)$$

где Δ – клиренс верхнего строения над расчетным уровнем воды, м;
 a – амплитуда волны, м.

Подставив в формулу (7) значение числа π , значение ускорения свободного падения g и перейдя от длины модели (0,6 м) к длине верхнего строения l , была получена искомая расчетная зависимость (9) для определения равнодействующей вертикальной составляющей волновой нагрузки на верхнее строение морских гидротехнических сооружений

$$P_z = 2,6\lambda hl^1 \rho k_p, \quad (9)$$

где λ , h , ρ – то же, что в формулах (3) и (6);

l – длина верхнего строения в направлении луча волны, м;

k_p – коэффициент, учитывающий клиренс верхнего строения, определяемый по формуле (8) либо по таблице 2, составленной на основе использования данной формулы.

Зависимость (9) справедлива, если длина верхнего строения в направлении луча волны меньше или равна длине полуволны $l \leq \lambda/2$. В противном случае следует применять формулы (10) и (11) и учитывать не фактическую длину верхнего строения, а приведенную l'

$$\lambda/2 < l \leq \lambda, \quad P_z = 2,6\lambda hl^1 \rho k_p, \quad l' = \lambda/2; \quad (10)$$

$$l > \lambda, \quad P_z = 2,6\lambda hl^1 \rho k_p, \quad l' = l/2. \quad (11)$$

Таблиця 2

Значение коэффициента k_p

Δ/a	k_p	Δ/a	k_p
0,56	0,8857	0,86	0,4194
0,64	0,6968	0,88	0,3221
0,65	0,6875	0,89	0,2646
0,69	0,6670	0,9	0,200
0,73	0,6564	0,91	0,130
0,75	0,6478	0,92	0,05
0,78	0,6229	0,928	0,030
0,79	0,6100	0,9285	0,000
0,85	0,4598		

Как видно из таблицы 2, при отношении клиренса верхнего строения Δ к амплитуде волны a , равном 0,9285 значение коэффициента k_p становится равным нулю. Следовательно, если $\Delta/a > 0,9285$, вертикальная составляющая волновой нагрузки также будет равна нулю. Таким образом, в отличие от действующих рекомендаций [9], предложенная методика определения вертикальной составляющей волновой нагрузки позволит уменьшить клиренс верхнего строения нефтяных платформ, морских эстакад и рейдовых причалов на 7 % от величины амплитуды волны 1 %-й обеспеченности в системе расчетного шторма, не меняя конструкцию верхнего строения. Это существенно снизит стоимость опорных частей гидротехнических сооружений данного типа.

Вывод. Результаты выполненных исследований позволили получить расчетные зависимости для определения вертикальной составляющей волновой нагрузки, действующей на верхнее строение морских гидротехнических сооружений, которые могут быть предложены для включения в нормативные документы страны. Учитывая, что при отношении клиренса (Δ) к амплитуде волны 1 %-й обеспеченности (a), равном 0,9285 и более, коэффициент k_p равен нулю и соответственно вертикальная составляющая волновой нагрузки также равна нулю, минимальный клиренс верхнего строения гидротехнических сооружений сквозного типа рекомендуется принимать равным 0,93 a .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): СНиП 2.06.04-82* - [Актуализированная редакция]. – М., 2012.*
2. *Рогачко С.И., Панова И.Н. Экспериментальные исследования волновых нагрузок // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2016. – № 1. – С.10-16.*

3. Панова И.Н. Экспериментальные исследования волновой нагрузки на верхнее строение гидротехнических сооружений // Вісник ОДАБА. – Одесса: Изд-во ОГАСА. – 2015. – № 56. – С.177-180.
4. Федяевский К.К. Гидромеханика / Федяевский К.К., Войткунский Я.И., Фадеев Ю.И. – Л.: Судостроение, 1968. – С.567.
5. Лаппо Д.Д. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения / Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.Н. – Л.: Изд-во ЛВНИИГ им. Б.Е.Веденева, 1990. – С.432.
6. Дорофеев В.С. Воздействие ветровых волн на гидротехнические сооружения / Дорофеев В.С., Розачко С.И. – Одесса: ОГАСА, 2012. – С.15-17.
7. Zeki Demirbik, Ph.D., Coastal and Hydraulics Laboratory (CHL), Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Mississippi., C. Linwood Vincent, Ph.D., Office of Naval Research, Arlington, Virginia. Water Wave Mechanics. – 2003.
8. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений/ Линник Ю.В. – Государственное издательство Физико-математической литературы. – 1958. – С.336.
9. Свод правил «Проектирование морских ледостойких платформ». Ч. I. Классификация, основные положения, требования к нагрузкам и воздействиям. Остойчивость. СП-33-10100. – М., 2001.
10. Сайт <https://search.ukr.net/?q>

Стаття надійшла до редакції 14.12.2015

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, директор Науково-дослідного інституту фундаментальних та прикладних досліджень Одеського національного морського університету **К.В. Єгунов**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Корабельна енергетика» Національного університету «Одеська морська академія» **П.І. Копейка**

УДК 656.614

И.М. Петров

**ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ АКТИВИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ МОРСКОГО АГЕНТА
В СЕРВИСНЫХ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

В работе на базе практического опыта автора и анализа трудов ученых обоснован подход к построению модели активизации процесса развития профессиональной направленности морского агента, дана характеристика основных этапов ее формирования и развития. Описаны подходы к пониманию структуры профессиональной направленности, выделены и обоснованы ее основные компоненты. При этом сам агент рассмотрен как оператор сервисных эргатических систем обеспечения деятельности судов во время их стоянки в порту в соответствии с хорошей практикой морского агентирования.

Ключевые слова: морской агент, сервисная эргатическая система, оператор, профессиональная направленность агента, профессиональная деятельность агента, активизация, интеграционный подход, мотив, намерения (цели), профессиональные интересы, профессионально-важные качества, склонности, ценностные ориентации; эмоции, когнитивная деятельность.

У роботі на базі практичного досвіду автора і аналізу праць учених обґрунтований підхід до побудови моделі активізації процесу розвитку професійної спрямованості морського агента, дана характеристика основних етапів її формування і розвитку. Описані підходи до розуміння структури професійної спрямованості, виділені і обґрунтовані її основні компоненти. При цьому сам агент розглянутий як оператор сервісних ергатичних систем забезпечення діяльності суден під час їх стоянки в порту відповідно до хорошої практики морського агентування.

Ключові слова: морський агент, сервісна ергатична система, оператор, професійна спрямованість агента, професійна діяльність агента, активізація, інтеграційний підхід, мотив, наміри (цілі), професійні інтереси, професійно-важливі якості, схильності, ціннісні орієнтації; емоції, когнітивна діяльність.

On the base of practical experience of author and analysis of works of scientists going near the construction of model of activation of process of development of professional orientation of sea agent is reasonable, description of the basic stages of her forming and development is given. Approaches are described near understanding of structure of professional orientation; her basic components are extracted and reasonable.

Thus, an agent is considered as an operator of the service ergatic systems of providing of activity of vessels during their stay in port in accordance with good practice of marine agency service.

Keywords: *sea agent, service ergatic system, operator, professional orientation of agent, professional activity of agent, activation, integration approach. reason, intentions (aims), professional interests, professionally-important internals, inclinations, valued orientations; emotions, cognitive activity.*

Постановка проблеми в общем виде и её связь с важными научными или практическими результатами. Совершенствование сервисной деятельности в морских портах невозможно без совершенствования работы по управлению персоналом, в частности комплектования агентских компаний высокопрофессиональными специалистами. Это требует новых подходов к активизация процесса развития профессиональной направленности морских агентов (ПНА).

Как показывает практика, процесс формирования профессиональной направленности начинающего работника агентской компании с высшим образованием составляет от 3-х до 5-и лет практической деятельности. В современных условиях жесткой конкуренции в сервисном сегменте агентские компании не могут себе позволить такое продолжительное время подготовки, что создает проблему активизации процесса формирования и развития ПНА.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Рассмотрение проблем активизации профессиональной направленности специалистов проводилось рядом исследователей. Подходы к ним и попытки решения изложены в трудах Ю.А. Афонькиной, Б.Г. Ананьева, В.А. Полянской, П.Я. Гальперина, Л.И. Кунц, В.А. Крутецкого, А.Н. Леонтьева, А.Н. Томилина, П.М. Якобсона, С.Л. Рубинштейна, Е.А. Климова, Э.Ф. Зеера, Н.Ф. Талызиной, Н.С. Пряжникова, Е.П. Ильина, Т.Н. Козловской, П.И. Пидкасистого, Н.И. Самарука, В.А. Слостенина, И.П. Подласого, А.П. Сейтешева, работах западных ученых А. Маслоу, В. Гинзбурга, И. Херма, Дж. Холланда, Д. Сьюпера, А. Рое, Ф. Херцберга и других.

Однако анализ показал, что, несмотря на довольно значительное количество исследований, большинство работ ограничиваются педагогическими и психологическими аспектами, процесс развития и активизации профессиональной направленности специалистов разработан недостаточно полно и подробно, и, особенно, в динамике. В то же время, вопросы активизации профессиональной направленности в подготовке специалистов сервисного сегмента на морском транспорте, также, как эргономические, организационные, технологические подходы к деятельности морского агента до сих пор не стали предметом специального исследования, что обусловило актуальность данной работы

Формулирование целей статьи (постановка задачи). На основании вышеизложенного, объект, предмет, цель исследования формулируются следующим образом:

Объект исследования: Сервисная эргатическая система (СЭС) обеспечения производственной деятельности морских транспортных средств.

Предмет исследования: Моделирование процесса активизации развития профессиональной направленности морского агента (ПНА) как оператора СЭС.

Цель исследования: Повышение эффективности профессиональной деятельности морского агента (ПДА) на основе уточненных подходов к нему, как оператору СЭС

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. Формирование профессиональной направленности составляет значимое место в развитии субъекта труда, каким является морской агент – оператор СЭС. Прежде всего отметим, что на основании принятых в отечественной литературе подходов, относящихся к производственному менеджменту [1; 2; 3], деятельность морского агента, как оператора СЭС, мы можем отнести одновременно к двум сферам – «человек-техника» и «человек-человек». В них, в том числе, происходит развитие ПНА.

Направленность определяет успешность овладения начинающим агентом профессией, и как считает Э.Ф. Зеер, выступает «системообразующим фактором личности профессионала» [4].

На сегодняшний день нет однозначного понимания профессиональной направленности. Впервые попытку сформулировать понятие «направленность» предпринял в 1946 г. С.Л. Рубинштейн. Он указывал, что «проблема направленности – это, прежде всего, вопрос о динамических тенденциях, которые в качестве мотивов определяют человеческую деятельность, сами, в свою очередь, определяясь ее целями и задачами» [5].

Позднее эта формулировка претерпела уточнения со стороны ряда ученых. В частности, позиции, что направленность включает в себя влечение, желание, интересы, склонности, идеалы, мировоззрение, убеждения, придерживались А.Г. Асмолов, К.К. Платонов, В.С. Мерлин [6; 7; 8].

На наш взгляд, удачное определение принадлежит Ю.А. Афонькиной: «Профессиональная направленность – это система устойчивых свойств человека как настоящего или будущего субъекта труда, определяющих его психологический склад, обеспечивающих его активность по конструированию собственной (потенциальной или актуальной) профессиональной деятельности, выступающая движущей силой профессионального самоопределения» [9].

Деятельность морского агента, как и обслуживаемых им транспортных судов (и военных кораблей!) подвержена довольно строгой регламентации. Поэтому, правомерным выглядит наше обращение к иссле-

дованіям розвитку професійної направленності військовослужащих ВМФ. В частности, заслуживает интерес анализ исследований в этой сфере. Например, А.Н. Томилин определяет профессиональную направленность, как «систему сформированных, устойчивых мотивов, интересов, потребностей, склонностей, побуждающих к эффективной профессиональной деятельности, проявляющейся в сформированных свойствах личности, где профессиональные характеристики реализуются как когнитивно-личностные новообразования, возникающие в процессе профессиональной деятельности» [10].

Отметим, что до настоящего времени в сервисной деятельности применялась традиционная модель формирования профессиональной направленности, согласно которой начинающий агент проходит ряд этапов, характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Этапы профессиональной направленности морских агентов

Этапы формирования ПНА	Компоненты этапов, проходимых агентами в процессе формирования ПНА
Начальный	Решение освоить профессию агента, выбрать конкретную специализацию; эмоциональный настрой, эпизодический, ситуативный интерес, предметная установка и формирование отдельных трудовых подходов и привычек; недостаток самостоятельности и инициативы.
Начало формирования ПНА	Четкая установка на профессию агента; устойчивость интересов; проявление профессиональных наклонностей, интерес к практической стороне; определение общего направления агентирования на базе сформировавшейся цели; выработка уверенности и самостоятельности; формирование ответственности.
Процесс формирования ПНА	Твердая установка на профессию агента, устойчивость интересов; проявление профессиональных наклонностей; увлеченность агентской деятельностью; осознанное развитие и самоутверждение начинающего агента через систематизированный добросовестный труд в агентской компании.
Окончательное формирование ПНА	Сформировавшееся увлечение профессией агента и мировоззрение; «прорастание» работника в агентирование; развитие способностей к профессии, призванию, высокого мастерства, профессиональной идеализации; наличие твердой убежденности в правильности профессионального выбора.

Остановимся подробнее на особенностях процесса формирования ПНА, приступившего в агентской компании к профессиональной деятельности. На этом этапе основной задачей должно стать нивелирование и устранение недостатков профессионального воспитания в вузе, которые у некоторой части начинающих агентов проявляются в недооценке профессии как социальной ценности, слабом интересе к работе или же отсутствии его, что снижает развитие организаторских навыков, деловитости, оперативности, подавляет инициативность, умение работать с людьми, затягивает (на 3-4 года) процесс адаптации в агентской компании.

Указанные факторы объективно вызывают необходимость активизации развития ПНА. Вначале, на основе анализа работ ученых и практиков, уточним понятие «активизация». Так, по С.И. Ожегову, активизация – это «побуждение к активности, усиление деятельности, оживление» [11]. Например, И.П. Подласый определяет понятие «активизация» как «постоянно текущий процесс побуждения к энергичному, целенаправленному учению, преодолению пассивной и стереотипной деятельности, спада и застоя в умственной работе» [12]. На основе анализа литературных источников нами сформулировано понятие «активизация процесса формирования ПНА» как «систематическое и целенаправленное взаимодействие вышестоящих организаций морского транспорта, руководства агентской компании, опытных коллег и начинающих агентов, направленное на совершенствование содержания, форм и методов практического обучения с целью повышения активности, привития познавательного интереса к профессиональной деятельности, добросовестном и эффективном исполнении ими должностных обязанностей в соответствии с хорошей практикой морского агентирования».

Приступая к формированию модели активизации развития ПНА, проведем структурный анализ ПНА. Необходимо отметить, что среди ученых существует множество точек зрения на состав компонентов профессиональной направленности. На основе анализа литературных источников можно отметить, что исследователи в качестве структурных компонентов профессиональной направленности выделяют интересы, склонности, стремления, намерения, мотивы и ценностные ориентации. Динамическая сторона профессиональной направленности отражена в содержательно-процессуальной модели Н.С. Пряжникова [13]. Динамику развития ПНА поможет представить выделение и обоснование ее основных структурных элементов.

Э.Ф. Зеер указывает на необходимость учета иерархии компонентов профессиональной направленности [4]:

- мотивы (намерения, интересы, склонности, идеалы);
- ценностные ориентации (смысл труда, заработная плата, благосостояние, квалификация, карьера, социальное положение);
- профессиональная позиция (отношение к профессии, установки, ожидания, готовность к профессиональному развитию);
- социально-профессиональный статус.

Западные ученые А. Маслоу и его последователь Ф. Херцберг, в структуре профессиональной направленности особенно выделяют факторы – «мотиваторы», действие которых направлено на достижение целей в рамках профессиональной деятельности [14; 15]. Л.И. Кунц подводит нас к выводу, что «профессиональная направленность есть интегральное явление. Системообразующим фактором выступает вектор мотив – структура ПНА, оказывающий воздействие на целевой, эмоциональный, интеллектуальный волевой и контрольно-оценочный компоненты [16].

На основании анализа литературных источников и руководствуясь собственным практическим опытом в рассматриваемой сфере, мы придерживались точки зрения, что системообразующим компонентом ПНА является мотив, который влияет на формулирование и постановку целей и намерений начинающим агентом, что помогает ему, в конечном итоге, развивать и совершенствовать личные профессионально – важные качества. ПНА также включает в себя следующие компоненты: намерения (цели), индивидуальные психофизиологические качества (склонности, способности) и имеет структуру, представленную на рис. 1. Все они представляют вначале профессиональной деятельности агента внутренние проявления его личности.

Приведенное построение ПНА делает возможным формирование модели активизации развития ПНА, получившего в вузе морское образование, в том числе и по дисциплине «Агентирование морских судов», и пришедшего после окончания на работу в компанию, занимающуюся этой формой предпринимательской деятельности.

Открывающиеся перед морским агентом перспективы в этом случае могут активизировать ценностно-ориентационную деятельность, расширяющую и углубляющую уже сложившуюся систему мотивов, оценок и суждений [10].

Разработанная модель активизации процесса развития ПНА приведена на рис. 2.

Приведенная на рис. 2 модель включает:

1. Мотивационно-аналитический блок, предусматривающий проведение и оценку имеющегося уровня ПНА и установление мотивов ПДА;
2. Концептуально-целевой блок, где учитываются положения личного, деятельностного, аксиологического, компетентностного, дихотомического, средового подходов, а также целый ряд принципов формирования ПНА. Разработка подходов и принципов формирования ПНА имеет конечной целью повышение эффективности ПДА;
3. Программно-проектировочный блок, основное назначение которого состоит в разработке целевой программы активизации развития ПНА. В свою очередь, построение и наполненность программы основывается на технологиях процесса воспитания начинающих агентов.



Рис. 1. Структура профессиональной направленности морского агента

Она предусматривает блочно-модульное проектирование активизации развития ПНА, и включает установочный блочно-содержательный модуль (БСМ), психологический БСМ, воспитательный БСМ. Содержание модулей направлено на углубление и систематизацию всех сторон деятельности руководства компании и более опытных коллег по активизации процесса развития у начинающих сотрудников ПНА;

4. Развивающе-технологический блок, предусматривающий внедрение разработанной технологии активизации ПНА, включающей реализацию целевой программы с учетом особенностей, присущих околоагентской среде, и использованием механизма корректировки целевой программы в зависимости от изменения условий протекания ПДА;

5. Аналитико-оценочный блок, предусматривающий возможность анализа и оценивания результатов с учетом когнитивного, ценностно-мотивационного и деятельностного критериев с выработкой рекомендаций.

Заметим, что применение предлагаемой модели и её реализация требуют профессионального проведения на достаточном методическом уровне тестирования агентов, разъяснения им содержания, построения тестов, необходимости серьезной разъяснительной работы по процедурам опроса и дачи ответов для того, чтобы они являлись репрезентативными.

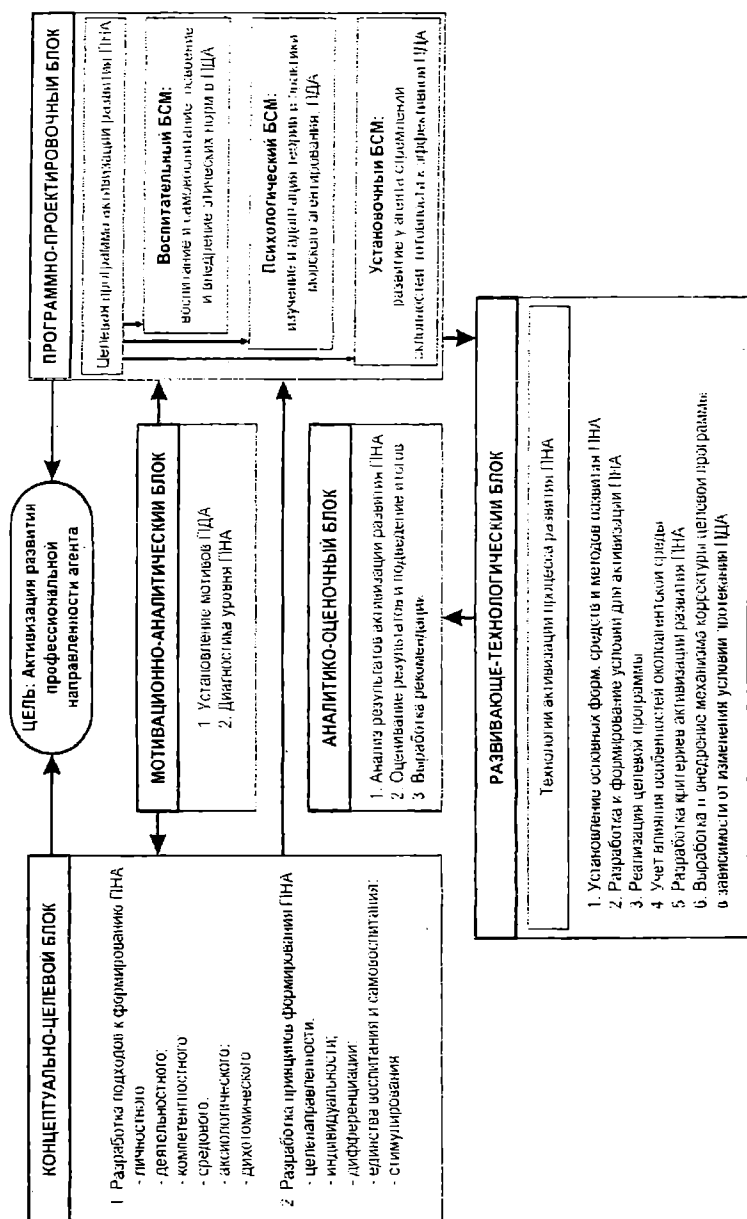


Рис. 2. Модель активизации процесса развития профессиональной направленности

Менеджмент агентских компаний, позиционирующих себя конкурентоспособными на региональных и локальных рынках агентских услуг, должен уделить вопросам активизации процессов развития ПНА самое пристальное внимание

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению. Основываясь на вышеизложенном, могут быть сделаны следующие выводы:

1. Проведенный анализ литературных источников показывает, что вопрос активизации развития профессиональной направленности специалистов, уже окончивших обучение и погрузившихся в профессиональную среду, исследован недостаточно полно и подробно. Значительно больше работ посвящено профессиональной направленности студентов, обучающихся по соответствующим специальностям. В основном они направлены на профилизацию содержания учебных дисциплин. Что касается профессиональной деятельности начинающего морского агента, то настоящее исследование представляет собой первую попытку моделирования активизации ПНА.

2. На основе анализа исследуемой проблемы выявлена сущность принципа профессиональной направленности

3. ПНА морского агента выступает основой его профессионального облика и, в свою очередь, активизирует конструирование самим агентом и околоагентской средой профессиональной деятельности, связанной с эффективным осуществлением сервисной деятельности.

4. ПНА представляет собой сложную иерархическую структуру и образует систему, которая сама является подсистемой направленности личности.

5. Системообразующим компонентом ПНА является мотив.

6. Предложенная модель отражает вполне адекватную организацию активизации процесса развития ПНА.

7. Активизация процесса формирования и развития ПНА непосредственно связана с динамическими изменениями ее структурных компонентов. Этот вывод отчетливо и строго представлен изменениями эмоционального компонента ПНА.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ломов, Б.Ф. *Методологические и теоретические проблемы психологии* / Б.Ф. Ломов. – М.: Педагогика, 1980. – 209 с.
2. Мясищев, В.Н. *Психология отношений* / В.Н. Мясищев. – Воронеж: Модек, 1995. – 356 с.
3. Леонтьев А.Н. *Деятельность, сознание, личность* / А.Н. Леонтьев; Под ред. Ю.Б. Гиппенрейтер // *Психология личности. Тексты*. – М.: МГУ, 1982. – 209 с.

4. Зеер Э.Ф. *Личностно ориентированные технологии профессионального развития специалиста: Научно-методическое пособие* / Э.Ф. Зеер, О.Н. Шахматова; Урал. гос. проф.-пед. ун-т, Урал. гос. науч.-образоват. центр Рос. акад. Образования. – Екатеринбург: Издательство УГППУ, 1999. – 244 с.
5. Рубинштейн С.Л. *Основы общей психологии* / С.Л. Рубинштейн. – СПб.: Питер, 2002. – 519 с.
6. Асмолов А.Г. *Деятельность и установка* / А.Г. Асмолов. – М.: Просвещение, 1983. – С. 45-58.
7. Платонов К.К. *Структура и развитие личности* / К.К. Платонов. – М.: Наука, 1986. – С. 126-127.
8. Мерлин В.С. *Лекции по психологии мотивов человека* / В.С. Мерлин. – Пермь, 1987. – С. 248.
9. Афонькина Ю.А. *Генезис профессиональной направленности: Автореферат дис. ... д-ра психолог. наук* / Ю.А. Афонькина. – СПб., 2003. – 33 с.
10. Томилин А.Н. *Военно-педагогическая теория и практика формирования и развития профессиональной направленности офицера-воспитателя* Монография. – Новороссийск: МГА им адм. Ф.Ф. Ушакова, 2010. – 185 с.
11. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. *Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений* / Российская академия наук. Институт русского языка им. В.В. Виноградова. – 4-е изд., доп. – М.: Азбуковник, 1999. – 944 с.
12. Подласый И.П. *Педагогика начальной школы*. – М.: Владос, 2000. – 216 с.
13. Пряжников Н.С. *Теория и практика профессионального самоопределения*. – М.: МГППИ, 1999. – 97 с.
14. Маслоу Абрахам. *Мотивация и личность*. – СПб.: Евразия, 2001. – 408 с.
15. Херцберг Фредерик. *Мотивация к работе* / Ф. Херцберг, Б. Моснер, Б. Блох Снидерман; пер. с англ. [Д.А. Куликов]. – М.: Вершина, 2007. – 240 с.
16. Куниц Л.И. *Практикум по психологии человека* / Л.И. Куниц. – Новосибирск: НГПУ, 2013. – 101 с.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2016

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, декан Судноводійного факультету Національного університету «Одеська морська академія»
М.М. Цимбал

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Морські перевезення» Національного університету «Одеська морська академія»
О.Р. Ярмолевич

УДК 005.8: 378.33

В.М. Пітерська

**ПРОЕКТНИЙ ПІДХІД
ДО МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНОЮ ОРГАНІЗАЦІЄЮ**

У статті наведені особливості інноваційного проектування та інноваційної діяльності, розроблені основи моделювання управління проектно-орієнтованою інноваційною організацією, проаналізований процес розвитку інновацій при виконанні наукомісткої діяльності.

Ключові слова: інноваційний проект, інноваційна діяльність, проектно-орієнтована організація.

В статье приведены особенности инновационного проектирования и инновационной деятельности, разработаны основы моделирования управления проектно-ориентированной инновационной организацией, проанализирован процесс развития инноваций при выполнении наукоемкой деятельности.

Ключевые слова: инновационный проект, инновационная деятельность, проектно-ориентированная организация.

The article describes the features of the innovative project and innovation, simulations' management of the project-oriented innovative organization, the development of innovation analyzed in the performance of knowledge-based activities.

Keywords: innovative project, innovation, project-oriented organization.

Вступ. В сучасних умовах високої конкурентоспроможності економічних систем і нестабільного розвитку виробничої та наукової галузей, перш за все, слід звертати особливу увагу на процеси стимулювання, появи і поширення нових технологій. Тому успішний розвиток організацій, регіонів і цілих країн можливий тільки при використанні сучасних концепцій інноваційного управління. У світовій літературі інновація інтерпретується як перетворення потенційного науково-технічного прогресу в реальний, що втілюється в нових продуктах і технологіях [1].

Розрізняють три форми інноваційного процесу: простий, міжорганізаційний (товарний), розширений [2].

Простий інноваційний процес передбачає створення і використання нововведення усередині однієї і тієї ж організації. Нововведення в цьому випадку не приймає безпосередньо товарної форми.

Розширений інноваційний процес проявляється у створенні великої кількості нововведень, порушенні монополії виробника, що сприяє через взаємну конкуренцію вдосконаленню споживчих властивостей товару, що випускається.

В умовах товарного інноваційного процесу діє як мінімум два господарських суб'єкта: виробник і споживач нововведення. Якщо нововведення є технологічним процесом, його виробник і споживач можуть поєднуватися в одному господарському суб'єкті.

Аналіз основних досягнень і літератури. У міру перетворення інноваційного процесу в товарний виділяються наступні фази [3].

Створення інновації – послідовні етапи наукових досліджень, дослідно-конструкторських робіт, організація дослідного виробництва і збуту, організація комерційного виробництва (ще не реалізується корисний ефект нововведення, а тільки створюються передумови такої реалізації).

Поширення інновації – це перерозподіл суспільно-корисного ефекту між виробниками нововведення, а також між виробниками і споживачами. Це інформаційний процес, форма і швидкість якого залежить від потужності комунікаційних каналів, особливостей сприйняття інформації господарюючими суб'єктами, їх здібностей до практичного використання цієї інформації.

Дифузія інновації – процес, за допомогою якого нововведення передається по комунікаційним каналам між членами соціальної системи в часі (поширення вже один раз освоєної і використаної інновації в нових умовах або місцях застосування).

У ряді джерел інновація розглядається як процес – нововведення розвивається у часі і має чітко виражені стадії [4]. Інноваційний процес пов'язаний із створенням, освоєнням і поширенням інновацій.

Метою дослідження є розробка проектно-орієнтованого підходу до моделювання управління інноваційною організацією.

Завданням дослідження є розгляд основних засад інноваційного проектування та розробка на цій основі методичних основ проектування інноваційної діяльності.

Матеріали дослідження. Одним з важливих чинників поширення будь-якої інновації є її взаємодія з відповідним соціально-економічним оточенням, істотним елементом якого є конкуруючі технології.

Відповідно до сучасних концепцій для інновації в рівній мірі важливі три властивості: науково-технічна новизна, виробнича застосовність, комерційна реалізованість (здатність задовольняти ринковий попит і приносити прибуток виробнику). Відсутність будь-якої з них негативно позначається на інноваційному процесі.

Таким чином, можна зробити висновок, що інновація є наслідком інноваційної діяльності – сукупності принципів, методів і форм управління інноваційними процесами, інноваційними проектами, зайнятими реалізацією цих проектів організаційними структурами та їх персоналом.

Важливо відмітити особливості понять інноваційна діяльність та інноваційний проект.

Інноваційна діяльність – це комплекс наукових, технологічних, організаційних, фінансових і комерційних заходів, спрямований на комерціалізацію накопичених знань, технологій і устаткування. Результатом

інноваційної діяльності є нові або додаткові товари, послуги з новими якістьми [5]. Також інноваційна діяльність може бути визначена як діяльність по створенню, освоєнню, розповсюдженню та використанню інновацій [6].

При цьому саме чинник комерціалізації, тобто отримання прибутку від впровадження інноваційного товару чи послуги, відіграє головну роль при проведенні інноваційної діяльності.

Що стосується інноваційного проекту, то це проект, що містить техніко-економічне, правове і організаційне обґрунтування кінцевої інноваційної діяльності [7].

Підсумком розробки інноваційного проекту є документ, що включає в себе докладний опис інноваційного продукту, обґрунтування його життєздатності, необхідність, можливість і форми залучення інвестицій, відомості про терміни виконання, виконавців і враховує організаційно-правові моменти його просування [8].

Тобто відмітною рисою інноваційного проекту є те, що на підставі розробленого техніко-економічного обґрунтування він може бути впроваджений у визначену сферу, і саме перше його використання буде вказувати на його унікальність та інноваційність. Але не виключені випадки, коли впровадження розробленого інноваційного проекту не принесло очікуваного прибутку, хоча розрахунки могли давати зворотній ефект. Але ніхто не застрахований від виникнення непередбачуваних ситуацій на ринку, так званих ситуацій ризику – може, наприклад, змінитися попит чи інші розробники впровадять більш унікальний інноваційний проект, який приверне увагу тих споживачів, на яких були направлені результати наших інноваційних розробок. Тоді відбувається коригування тих чи інших характеристик інноваційного проекту, він може докорінно змінитися, що викличе оформлення інших документів, що стосуються обґрунтування та інших показників подальшого можливого впровадження. І таких інноваційних проектів і їх коригувань може бути безліч, враховуючи, звісно, обсяг фінансування. І всі ці дії будуть продовжуватись в рамках виконання інноваційної діяльності.

Тобто, специфічний зміст інновації складають зміни, головною функцією інноваційної діяльності є функція зміни.

Реалізація інноваційного проекту – процес по створенню і виведенню на ринок інноваційного продукту.

Мета інноваційного проекту – створення нових або зміна існуючих систем – технічної, технологічної, інформаційної, соціальної, економічної, організаційної та досягнення в результаті зниження витрат ресурсів (виробничих, фінансових, людських) докорінного поліпшення якості продукції, послуги і високого комерційного ефекту [9]. Стадії розробки інноваційного проекту представлені на рис. 1.

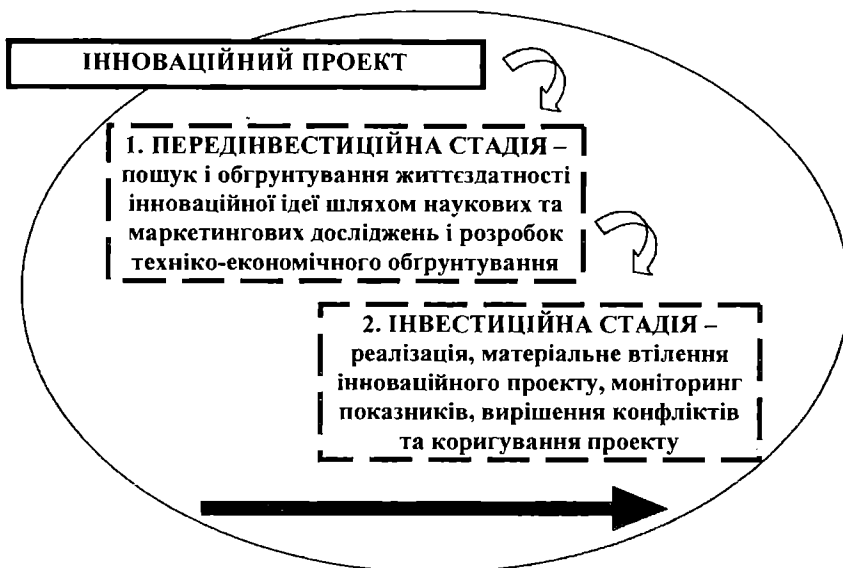


Рис. 1. Стадії розробки інноваційного проекту

Тоді як інноваційна діяльність – це діяльність, спрямована на використання і комерціалізацію результатів наукових досліджень і розробок для розширення і оновлення номенклатури і поліпшення якості продукції, що випускається (товарів, послуг), вдосконалення технології їх виготовлення з подальшим впровадженням та ефективною реалізацією на внутрішньому і зарубіжних ринках, що передбачає цілий комплекс наукових, технічних, технологічних, організаційних, фінансових і комерційних заходів, які у своїй сукупності призводять до інновацій (рис. 2). Інноваційна діяльність (науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи – НДДКР – впровадження їх результатів у виробництво) є однією з основних сфер діяльності будь-якої організації. Завданням НДДКР є створення нових виробів (або послуг), які будуть основою виробничої діяльності організації в майбутньому [3]. При проведенні НДДКР повинні враховуватися виробничі культура, традиції, організація, інфраструктура, технологічний рівень, кадровий потенціал. Але, мабуть, найважливішим обставиною є те, що НДДКР як діяльність, звернена в майбутнє, тісно пов'язані і взаємно визначає стратегічний менеджмент фірми. Стратегія перетворюється в реальність тільки в результаті розробки конкретного продукту або процесу. Витрати на НДДКР – це вкладення в майбутнє організації, але в той же час вони пов'язані з високою невизначеністю і ризиком. У більшості випадків управління НДДКР (прогнозування, планування, оцінка інноваційних проектів, організація та комплексне управління, контроль за ходом виконання) – стратегічно більш важлива задача, ніж власне виконання НДДКР (важливіше визначити правильний напрямок руху, чому зосередитися на конкретні кроки в цьому напрямку).



Рис.2. Класифікація інновацій

Таким чином, НДДКР і управління інноваційними проектами тісно пов'язані з теорією і практикою управління проектами, програмами, маркетингом, виробничим менеджментом, логістикою, стратегічним менеджментом, фінансовим менеджментом підприємства.

При цьому важливо відмітити ряд факторів, що впливають на життєздатність інноваційних проектів. Життєздатність ідеї залежить від безлічі факторів: співвідношення витрат на реалізацію проекту і комерційного ефекту; наявність вихідного капіталу або можливості придбання позики, кредиту; масштабність проекту, терміни виконання і окупності, необхідність додаткових вкладень; маркетингова стратегія, варіанти позиціонування продукту; рівень професіоналізму та особистої зацікавленості виконавців проекту; юридична захищеність проекту – відповідність законодавству, необхідність отримання сертифікатів, ліцензій, наявність патентів, авторських прав, можливість отримання підтримки з боку держави (субсидій, пільг); унікальність проекту, наявність конкурентів і схожих проектів; наявність наукових розробок і досліджень за даним проектом; наявність очевидної користі (вигоди) для споживача, закладеної в інноваційному продукті; наявність потреби в продукті, портрет споживача, обсяг ринку.

В результаті аналізу всіх зазначених чинників робиться попереднє рішення про інвестування. Після цього починається розробка документації – наукові дослідження і техніко-економічне обґрунтування, їх погодження та затвердження. Логічним завершенням першої фази є прийняття рішення про доцільність виконання інноваційного проекту і інвестування.

Взаємозв'язок інноваційного проектування в рамках виконання інноваційної діяльності можна представити у вигляді рис. 3.

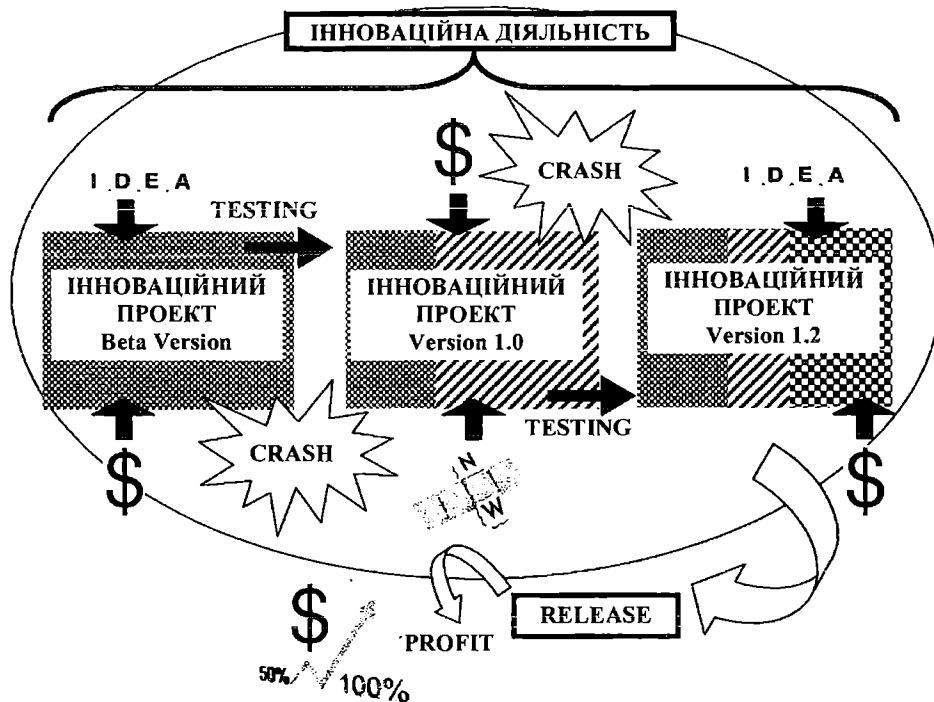


Рис. 3. Інноваційне проектування в рамках інноваційної діяльності

Кожен інноваційний проект повинен пройти цикл «наука-виробництво-споживання». Ідея інноваційного проекту повинна мати основу в формі наукових і маркетингових досліджень, як і виробництво, має підлаштовуватися під споживача і спиратися на наукові розробки. Складність прогнозування результатів і як підсумок – підвищені ризики. Поява нового завжди пов'язане з високим ризиком неприйняття суспільством. Консерватизм в цьому плані властивий не тільки більшій частині суспільства, а й більшості об'єктів виробництва, не здатних сприйняти інновації навіть технічно. Імовірність отримання позитивних результатів в залежності від виду і характеру інноваційних досліджень коливається від 5 до 95 %. Розробка та впровадження інноваційного проекту – творче й унікальне завдання. Тому багато що залежить від ентузіазму та особистої

зацікавленості виконавців. Аналіз причин невдач інноваційних проєктів показав, що частою причиною цих невдач є управління проєктом звичайними найманими менеджерами, які мали єдину мотивацію у вигляді грошей [9]. Організація роботи учасників проєкту – наявність вільної волі і високої мотивації учасників проєкту робить звичну організацію праці і створення трудової дисципліни недоцільною. Тому необхідний адекватний підхід до вибору керівниками стилю управління.

Відсутність звичних стандартів інноваційного проєкту – навіть сама чітка концепція проєкту може зазнати серйозних змін в процесі розробки.

Специфіка інновації як об'єкта управління передбачає особливий характер діяльності інноваційного проєктного менеджера. Крім загальних вимог (творчий характер, аналітичні здібності), він повинен бути істинним професіоналом, знати виробничо-технологічну область інновації; стан ринку інноваційного продукту, ринку інвестицій; організацію інноваційної діяльності з розробки та освоєння нових видів продукції і надання нових видів послуг; фінансово-економічний аналіз інноваційно-виробничої та інвестиційної діяльності; основи трудових відносин і мотивації праці персоналу; правове регулювання і види державної підтримки інноваційної діяльності. Особлива увага повинна приділятися підготовці і прийняттю управлінських рішень, а також контролю на кожному етапі його проходження. Кінцева мета управління інноваційними проєктами полягає в підвищенні ефективності використання ресурсів і забезпечення раціонального функціонування суб'єктів інноваційної діяльності. Для управління інноваційною організацією характерно те, що в якості ключового джерела постійного зростання і розвитку виступає творча діяльність, створення і поширення нововведень. Модель управління інноваційною організацією заснована на такому підході до управління організацією, який відрізняється від підходів, характерних для концепцій реінжинірингу, загальної якості, безперервних змін тощо.

При побудові моделі управління інноваційною організацією необхідно виходити з самого широкого поняття нововведення, коли інноваційний процес включає в себе все – від початку до кінця створення нових продуктів, послуг і процесів. Вузкий погляд на НДДКР є однією з найбільших перешкод підвищення ефективності інноваційної діяльності. :

На відміну від традиційних функціональних підходів до управління організацією, модель управління інноваційною організацією базується на двох основних принципах. По-перше, менеджери організації для підвищення ефективності інноваційної діяльності повинні управляти процесами створення і поширення нововведень в масштабах розширеної організації, створюючи сільові організаційні структури, що дозволяють розвивати необхідні знання, компетенції, підтримувати постійний процес навчання в організації.

По-друге, для ефективного управління організацією необхідно створювати платформи розвитку організації на базі інтеграції технологій і

компетенцій з метою підтримки і розвитку певних портфелів інновацій. Такі платформи технологій і компетенцій орієнтовані на стимулювання інноваційної діяльності, що є ключовим фактором у розвитку організації.

Модель управління інноваційною організацією передбачає системний підхід до розробки стратегії та структури організації, їх реалізації з метою підвищення ефективності її розвитку на базі активізації творчої, інтелектуальної діяльності, процесів створення та поширення нововведень.

Фактично в даній моделі стратегічні та структурні засоби управління організацією розглядаються як управлінські інструментальні засоби для підвищення ефективності інноваційної діяльності. Ці стратегічні та структурні засоби являють собою ті методи і прийоми стратегічного управління організацією, які менеджери можуть використовувати як предмети, якими вони можуть маніпулювати для того, щоб підвищити ефективність інноваційної діяльності. Модель управління інноваційною організацією (рис. 4) будується на уявленні про те, що інноваційний процес може бути дуже складним. Висування ідеї і її реалізація в інноваційній продукції відбувається поетапно, включає в себе багато різних кроків, ряд етапів, фаз.



Рис. 4. Управління інноваційною діяльністю

Інноваційні системи, на відміну від виробничих, орієнтовані не на повторення, відтворення тієї ж самої продукції, а на пошук і затвердження нового. Інноваційний процес, що починається зі звичайної концептуалізації, подібний звичайній воронці, де виникає безліч різноманітних ідей (які проходять через визначені фільтри для відбору та перевірки) і далекосхідним вниз потоком, який з високою швидкістю «виносить» безліч продуктів і послуг споживачам (рис. 5).

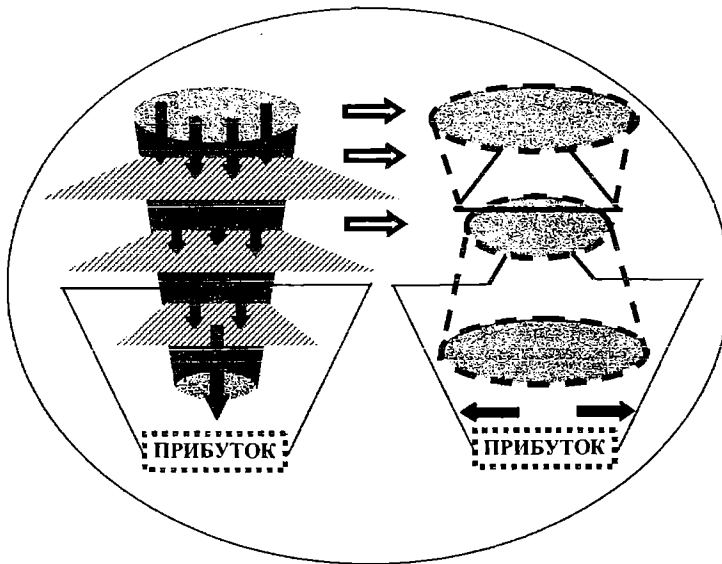


Рис. 5. Розвиток інноваційного процесу

Оскільки початок процесу рухає пошуком ідей серед більшої різноманітності джерел, остільки це збільшує ймовірність знаходження ефективних ідей, методів виробництва нових продуктів і послуг. Кінцева стадія сприяє комерціалізації процесу, шляхом підписання та отримання ліцензійних угод, патентів, методології управління різноманітними процесами.

Організація використовує інновації, щоб розширити своє бачення створення технологій та продукту проекту, збільшуючи потенційну вартість на вершині та вартість, що вловлюється у основи, підвищуючи швидкість усього процесу.

На першій стадії інноваційного процесу з'являється «сировина», з якої моделюються нові ідеї по ходу того, як команди використовують своє чуття, щоб розшифрувати невизначені майбутні питання – яка назріває нова технологія, які нові урядові розпорядження, укази, закони в роботі, які незадоволені запити зараз очевидні на ринку або будуть визначати цінність для майбутніх споживачів?

Мета – постійно підтримувати кошик ідей повним до країв багатими міркуваннями, ідеями, які б відповідали як на очікувані, так і на несподівані запити. Ці ідеї повинні приходити з усіх куточків розширеної організації – постачальників, споживачів, дистриб'юторів, партнерів по альянсів, галузевих груп, університетських дослідницьких центрів тощо.

Очевидно, що деякі ідеї, які навіть найкращим чином передбачали майбутнє, ніколи не стануть продуктами з тієї чи іншої причини. Повна інвентаризація ідей щодо нових продуктів і послуг в організації означає, що переможці можуть бути швидко «взяті з полиці», щоб завоювати або підтримати лідируючі позиції і розширити присутність організації на ринку. Наприклад, якщо конкурент планує вийти з новим продуктом, організація може нанести упереджувальний удар шляхом випуску своєї власної версії, щоб нейтралізувати ініціативу конкурента.

Модель управління інноваційною організацією використовує розширювальне трактування ресурсів організації, фактично перевизначаючи сам термін «ресурси» та розглядаючи організацію як розширену.

Ресурси інноваційної організації – це не просто її витрати відповідно до звітності або плану бюджету наступного року і не просто потужності (лабораторії, офісні приміщення, обладнання).

Ресурси також включають фінансову підтримку, і звичайно працівників, постачальників, партнерів, споживачів і навіть конкурентів. До цього ще треба додати знання, компетенції, технології, які використовує організація.

Відповідно до моделі управління інноваційною організацією, ресурси організації – це активи, якими необхідно систематично управляти для підвищення ефективності їх використання.

Модель управління інноваційною організацією при розробці її організаційної структури виходить з наступних основних положень.

По-перше, структура інноваційної організації є рухомою.

Ідеї, знання, інформація рухаються безперешкодно від однієї частини організації до іншої – між головними керівниками, менеджерами, працівниками, споживачами, партнерами і постачальниками – без необхідності проходити через складну систему перевірок і зіставлень. Навіть якщо організація простягається на великій території і охоплює різні культури, мови, інформаційні системи, інноваційні ідеї поширюються швидко і вільно через усі межі, і досягають тих, кому вони необхідні для практичного втілення і використання.

По-друге, для структури інноваційної організації характерно керівництво інноваціями зверху вниз і знизу вгору. Роль керівників у системі управління інноваціями є ключовою для всієї організації. Ця роль виходить далеко за рамки централізації чи децентралізації в управлінні НДДКР.

Директор з розвитку відповідає за управління інноваційним процесом зверху вниз, від генерації ідей, концепції до використання її на практиці, споживачем, за створення і отримання вартості в ході як техно-

логічного, так і продуктово-процесного розвитку. Директор з розвитку повинен також прагнути максимізувати віддачу від інноваційних інвестицій та ефективно використовувати інноваційні ресурси всередині і поза організацією.

По-третє, структура інноваційної організації є сітьовою. Мережі, які засновані на взаємному визнанні можливостей і вкладів кожного учасника, не замінюють існуючу організаційну структуру і процеси. Вони припускають велику неформальну комунікацію в ході постійних зустрічей, обмінів посланнями по електронній пошті, якимись думками міркуваннями, але цим мережам також необхідний «вузол» – ініціатор і стимулятор комунікації, який час від часу робить висновки і пропонує нові напрямки обговорень. Ця роль виконується на дружній основі неформального визнання, а не за посадою і формальним становищем, статусом.

Мережі об'єднують людей різних ієрархічних рівнів і використовують різні комунікаційні системи. Вони є чітко керованими, але не програмованими. Вони виникають на базі загального інтересу або теми, які об'єднують людей в мережі і визначають їх прагнення бути частиною мереж і активно вносити в них свій вклад. Лідери-керівники цих мереж, які зазвичай тягнуться через усі межі, визнані як грають роль у розвитку всієї організації, що орієнтуються на цілі розвитку і несуть визначену відповідальність.

Організації можуть стимулювати мережі, заохочуючи неформальну комунікацію, а також підтримуючи тих, хто створює такі мережі. У мережі зазвичай підключаються учасники ззовні організації, члени великого професійного співтовариства, постачальники, споживачі, а також представники академічних кіл, вчені. Учасники мережі можуть бути високоактивними, які беруть участь в дискусіях, творчо працюючими, можуть бути постійними або тимчасовими.

Мережі можуть бути розділені на наступні типи. Інтелектуальні і моніторингові мережі, що орієнтуються на майбутнє і приділяють увагу споживачам, кінцевим користувачам, ринків, галузей, технологій. Вони генерують нові ідеї або концепції і ці мережі встановлюють взаємини як усередині компанії, так і у всій розширеній організації. Мережі високої майстерності і розвитку здібностей, які встановлюють і підтримують зв'язки з приводу ключових інноваційних платформ, активно керують цими платформами і підтримують їх. Ці мережі відповідають за якісний рівень платформ в масштабах всієї розширеної організації, швидке розгортання і передачу інновації та відповідної технології, активний моніторинг проектів і ініціатив на заводах, у постачальників і партнерів, створення і управління матеріальними і нематеріальними активами організації по цих платформах. Мережі інновацій та розвитку передбачають відповідальність за отримання результатів, що мають високу цінність і значимість. Ці мережі підтримуються добре скоординованими інвестиціями і добре пов'язаними між собою проектними командами, так само як і внутрішніми і зовнішніми джерелами. Вони відповідальні за управління про-

цесами розвитку технологій і продуктів, за створення вартості на базі нових продуктів і процесів; за інформування управлінського персоналу про сильні, слабкі сторони, можливості та загрози різних платформ, за просування технологій та компетенцій, що утворюють певні платформи. Крім того, вони можуть мати вагоме слово з питань розгортання ресурсів і активно створювати нові можливості, активно координувати і посилювати інвестиції, виробляти компроміси між проектами і програмами, внутрішніми і зовнішніми аспектами проблем розвитку і пропонувати свої рішення вищому керівництву. І, нарешті, інноваційні організації мають партнерів. Організації істотно залежать від того, як вони розвивають партнерські відносини як із зовнішніми організаціями, включаючи конкурентів, так і у внутрішньому оточенні, тобто між різними відділами, частинами організації. Таке партнерство має бути взаємовигідним. Інноваційні організації встановлюють контакти через внутрішні кордони і за їх межами.

Висновки. Складність, комплексність – це найбільш характерна риса заключного етапу інноваційного процесу. У типовому процесі розробки продукту в більшості організацій виявляється тиск, щоб зробити, щоб переглянути і випустити продукт в термін. Деяко мало часу витрачається на обдумування чогось іншого, крім очевидного первинного ринку продуктової інновації або первинного застосування процесної інновації. Часто існує спокуса просто якомога швидше передати новий проект продуктовому або операційному менеджеру і рухатися далі. Для підвищення ефективності розвитку організації необхідно відповідно до моделі управління інноваційною організацією висувати на перший план інновації як ключовий компонент стратегії, як основне джерело розвитку організації. У моделі управління інноваційною організацією стратегія організації заснована на створенні платформи для її розвитку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Котлер Ф. *Привлечение инвесторов: маркетинговый подход к поиску источников финансирования [Текст]* / Ф. Котлер. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. – 193 с.
2. Абрамешин А.Е. *Менеджмент инновационной организации [Текст]: Учебн. пособие* / А.Е. Абрамешин, С.Н. Аксенов и др. – М.: Европейский центр по качеству, 2005. – 408 с.
3. Гершман М.А. *Инновационный менеджмент [Текст]* / М.А. Гершман. – М.: Маркет ДС Корпорейшин, 2010. – 482 с.
4. Дагаев А.В. *Государственные гарантии для малого инновационного бизнеса [Текст]* / А.В. Дагаев // *Проблемы теории и практики управления.* – 2006. – № 2. – С. 81-88.

5. *Инновационный менеджмент: концепции, многоуровневые стратегии и механизмы инновационного развития [Текст] / Под ред. В.М. Аньшина, А.А. Дагаева. – М.: Дело, 2007. – 584 с.*
6. *Морозов Ю.П. Инновационный менеджмент [Текст] / Ю.П. Морозов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 345 с.*
7. *Мухамедьяров А.М. Инновационный менеджмент [Текст] / А.М. Мухамедьяров. – М.: Инфра-М, 2008. – 176 с.*
8. *Основы инновационного менеджмента. Теория и практика [Текст]: Учебник / Под ред. А.К. Казанцева, Л.Э. Миндели. – М.: Экономика, 2006. – 518 с.*
9. *Твисс Б. Управление нововведениями [Текст] / Б. Твисс. – М.: Экономика, 2009. – 272 с.*

Стаття надійшла до редакції 12.01.2016

Рецензенти:

доктор технічних наук, проректор з навчально-організаційної роботи, професор кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету **А.В. Шахов**

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Судноводіння та енергетики суден Національного університету «Одеська морська академія» **В.І. Чимшир**

UDC 519.863

S.D. Titov, L.S. Chernova

**A PROBLEM
OF IMMERSING THE MAXIMUM RADIUS CIRCLE IN THE POLYHEDRON**

The article considers the solution of the problem to determine the maximum radius of the circle placed (immersed) in the polyhedral region bounded by straight lines. This problem can be of practical use for the initial optimal pattern cutting and subsequent manufacture of expensive parts or in serial production. In theoretical terms this problem is solved in a complex with the optimization problem of the minimum coverage.

Keywords. *Circle, maximum radius, polyhedron, linear optimization, objective function, set of constraints, simplex-method.*

У статті розглянуто розв'язок задачі обчислення максимального радіусу кола, зануреного у полідральну область (обмежену прямими лініями). Це завдання може мати практичне використання для початкового оптимального розкрою і подальшого виготовлення дорогих деталей або в серійному виробництві. У теоретичному плані, таке завдання пов'язується з оптимізаційною проблемою про мінімальне покриття.

Ключові слова. *Коло, максимальний радіус, полідр, лінійна оптимізація, цільова функція, система обмежень, симплекс-метод.*

В статье рассмотрено решение задачи вычисления максимального радиуса окружности, погруженного в полидральную область (ограниченную прямыми линиями). Эта задача может иметь практическое использование для первоначального оптимального раскроя и последующего изготовления дорогостоящих деталей или в серийном производстве. В теоретическом плане, такая задача связана с оптимизационной проблемой минимального покрытия.

Ключевые слова: *Окружность, максимальный радиус, полидр, линейная оптимизация, целевая функция, система ограничений, симплекс-метод.*

Analysis of recent researches and publications. The modern mathematical apparatus of the optimization theory in combination with the use of computer technology allows to solve nonlinear problems, but always there is appropriateness of linearization of complex nonlinear problems. Such simplification allows to use accurate classical methods of optimization solution as opposed to approximate one for nonlinear optimization [1; 2; 3; 4].

The purpose of the article. The research task was rigorous mathematical reduction (linearization) to the problem of linear optimization, nonlinear problem of the maximum radius circle immersion in the range of the polyhedron type convex region.

Statement of the base material. We will consider a two-dimensional case. Let us suppose there is a polyhedron Ω_1 represented by a system of linear algebraic inequalities

$$\Omega_1 : \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \leq b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \leq b_2, \\ \dots\dots\dots, \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 \leq b_m, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0. \end{cases}$$

It is necessary to place the maximum radius circle in Ω_1 region. Let us interpret the problem graphically (fig.1).

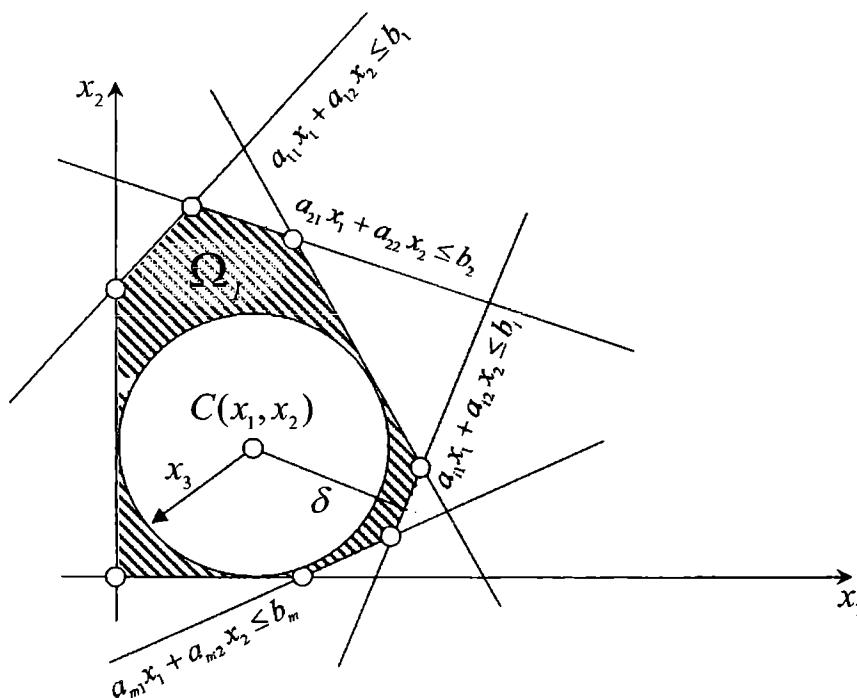


Fig. 1. Graphic interpretation of solving the circle problem

The region is set by the system

$$\Omega_I : \begin{cases} -4x_1 + 3x_2 \leq 12, \\ 5x_1 + 12x_2 \leq 60, \\ 4x_1 - 3x_2 \leq 24, \\ 3x_1 + 4x_2 \leq 24, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0. \end{cases}$$

It is necessary to find the center and radius coordinates of the circle that is the largest in area and located in the Ω_I region.

According to the proposed method let us to form the linear optimization problem that is the standard problem of linear optimization. The objective function and the set of constraints are given by

$$\begin{aligned} W_I = x_3 \rightarrow \max \\ \Omega_I : \begin{cases} -4x_1 + 3x_2 + 5x_3 \leq 12, \\ 5x_1 + 12x_2 + 13x_3 \leq 60, \\ 4x_1 - 3x_2 + 5x_3 \leq 24, \\ 3x_1 + 4x_2 + 5x_3 \leq 24, \\ -x_1 + x_3 \leq 0, \\ -x_2 + x_3 \leq 0, \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0. \end{cases} \end{aligned}$$

In order to solve the problem by the simplex-method it needs to proceed to the canonical form of the problem [1; 2]

$$\begin{aligned} W_I = x_3 \rightarrow \max \\ \Omega_I : \begin{cases} -4x_1 + 3x_2 + 5x_3 + x_4 = 12, \\ 5x_1 + 12x_2 + 13x_3 + x_5 = 60, \\ 4x_1 - 3x_2 + 5x_3 + x_6 = 24, \\ 3x_1 + 4x_2 + 5x_3 + x_7 = 24, \\ -x_1 + x_3 + x_8 = 0, \\ -x_2 + x_3 + x_9 = 0, \\ x_i \geq 0, i = 1, \dots, 9. \end{cases} \end{aligned}$$

Therefore we have an admissible pivot of beginning of the simplex-method $X_0 = [0, 0, 0, 12, 60, 24, 24, 0, 0] \in \Omega$. The calculation is performed by the usual simplex-method (Table 1).

Table 1

Basis	C	B	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
			0	0	1	0	0	0	0	0	0
a_4	0	1	-4	3	5	1	0	0	0	0	0
a_5	0	60	5	12	13	0	1	0	0	0	0
a_6	0	2	4	-3	5	0	0	1	0	0	0
a_7	0	24	3	4	5	0	0	0	1	0	0
a_8	0	0	-1	0	1	0	0	0	0	1	0
a_9	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
Δ_j	$W(X_0) = 0$		0	0	-1	0	0	0	0	0	0
a_4	0	12	1	3	0	1	0	0	0	-5	0
a_5	0	60	18	12	0	0	1	0	0	-13	0
a_6	0	24	9	-3	0	0	0	1	0	-5	0
a_7	0	2	8	4	0	0	0	0	1	-5	0
a_3	1	0	-1	0	1	0	0	0	0	1	0
a_9	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-1	1
Δ_j	$W(X_1) = 0$		-1	0	0	0	0	0	0	1	0
a_4	0	12	0	4	0	1	0	0	0	-4	-1
a_5	0	6	0	3	0	0	1	0	0	5	-18
a_6	0	24	0	6	0	0	0	1	0	4	-9
a_7	0	24	0	12	0	0	0	0	1	3	-8
a_3	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
a_1	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-1	1
Δ_j	$W(X_2) = 0$		0	-1	0	0	0	0	0	0	1
a_4	0	4	0	0	0	1	-2/15	0	0	-14/3	7/5
a_2	0	2	0	1	0	0	1/30	0	0	1/6	-3/5
a_6	0	1	0	0	0	0	-1/5	1	0	3	-27/5
a_7	0	0	0	0	0	0	-2/5	0	1	1	-4/5
a_3	1	2	0	0	1	0	1/30	0	0	1/6	2/5
a_1	0	2	1	0	0	0	1/30	0	0	-5/6	2/5
Δ_j	$W(X_3) = 2$		0	0	0	0	1/30	0	0	1/6	2/5

REFERENCES

1. *Ashmanov S.A. Lineynoye programmirovaniye [Linear programming]. – M.: Nauka, 1981.*
2. *Ashmanov S.A. Vvedeniye v matematicheskuyu ekonomiku [Introduction to mathematical economics]. – M.: Nauka, 1984.*
3. *Bugir M.K. Matematika dlya ekonomistov. Lineynaya algebra, lineyniye modeli [Mathematics for economists. Linear algebra, linear models]. – K.: Akademiya Publ., 1998.*
4. *Karmanov V.G. Matematicheskoye programmirovaniye [Mathematical programming]. – M.: Nauka, 1975.*

Стаття надійшла до редакції 12.01.2016

Рецензент – доктор технічних наук, професор, директор Інституту комп'ютерних та інженерно-технічних наук Миколаївського Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова **К.В. Кошкін**

УДК 65.012.34

Н.Н. Поддубная

**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ОБОСНОВАНИЯ МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ПРИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ**

Представлена экономико-математическая модель, позволяющая определить месторасположение распределительных центров и их количество в логистической системе, транспортирующая подсистема которой предполагает перевозку грузов в контейнерах. При этом учитывается необходимость расстафировки контейнеров в распределительных центрах, а отправка конечным потребителям осуществляется на паллетах.

Ключевые слова: логистическая система, распределительный центр, контейнерные перевозки.

Наведено економіко-математичну модель, що дозволяє визначити місце розташування розподільних центрів і їх кількість в логістичній системі, транспортуюча підсистема якої передбачає перевезення вантажів в контейнерах. При цьому враховується необхідність расстафировки контейнерів в розподільних центрах, а відправка кінцевим споживачам здійснюється на палетах.

Ключові слова: логістична система, розподільний центр, контейнерні перевезення.

An economic mathematical model that allows determining the location and number of distribution centers in the logistics system, conveying subsystem of which assumes carriage of goods in containers, is presented. This model takes into account the need of containers' unstuffing in distribution centers and delivering of goods to final customer on pallets.

Keywords: logistics system, distribution center, container transportation.

Постановка проблемы. В современных условиях одним из основных направлений логистики является повышение качества обслуживания потребителей путем совершенствования системы распределения, а именно создания сети распределительных центров. Количество распределительных центров в сети, а также их месторасположение, оказывают существенное влияние на расходы, возникающие в процессе доведения товара до конечных потребителей и, соответственно, на его конечную стоимость. Главным критерием при принятии решения о структуре сети распределительных центров является минимизация логистических затрат.

Значительная часть товаров народного потребления перевозится в крупнотоннажных контейнерах достаточно крупными партиями, как правило, их объемы превышают потребности отдельных потребителей.

Таким образом, оптимизация распределения материальных потоков при контейнерных перевозках является актуальной задачей. Кроме того, расстафировка крупнотоннажных контейнеров является технологически непростой задачей, требующей применения специализированной техники и задействования квалифицированного персонала, вследствие чего не всегда возможно осуществить ее силами конечного потребителя (розничного продавца). В качестве места осуществления выгрузки груза из контейнера и формирования мелких партий для отправки потребителям используются распределительные центры, имеющие соответствующие мощности. Далее отправка осуществляется на паллетах, чаще всего, автомобильным транспортом, обеспечивающим быструю и своевременную доставку.

Оптимизация логистических систем и построение систем распределения товаров вызывают широкий интерес у исследователей, во многих работах [1-6] широко освещены теоретические аспекты их функционирования, эффекты, возникающие при их эффективной организации, обобщен практический опыт. Также разработан ряд методов и моделей, позволяющих определить структуру и оптимизировать некоторые аспекты функционирования сетей распределительных центров [1-6]. Однако, недостатком является отсутствие формализации, а зачастую, и голословность утверждений, отсутствие математического аппарата принятия решений по оптимизации функционирования логистических систем в целом и их отдельных подсистем.

В последнее время предприняты попытки построения моделей различных типов логистических систем [7-13]. Однако модели обоснования месторасположения распределительных центров, учитывающие специфику контейнерных перевозок с участием морского транспорта, не разработаны.

Целью статьи является построение экономико-математической модели обоснования месторасположения распределительных центров при контейнерных перевозках.

Изложение основного материала. Пусть имеется M ($i = \overline{1, M}$) портов отправления контейнеров с грузом, при этом из каждого из них отправляется a_i ($i = \overline{1, M}$) контейнеров. Возможна перевозка контейнеров морским транспортом (судоходными линиями) до K ($k = \overline{1, K}$) портов назначения. Далее необходимо осуществить доставку наземным транспортом до одного или нескольких распределительных центров (РЦ), емкость каждого из которых ограничена и составляет d_j ($j = \overline{1, N}$) паллето-мест. В распределительном центре контейнеры расстафируются и груз отправляется L ($l = \overline{1, L}$) конечным потребителям в соответствии с их заказами в объеме b_l ($l = \overline{1, L}$) паллет.

Известны стоимость перевозки морским транспортом, включая стоимость перевалки и экспедирования груза в порту, – c_{ik} ($i = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}$), стоимость перевозки наземным транспортом до распределительного центра, включая стоимость обработки контейнера в РЦ и стоимость хранения до момента вывоза, – c_{kj} ($k = \overline{1, K}, l = \overline{1, L}$), а также стоимость вывоза груза до конечных потребителей – c_{jl} ($j = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}$).

Параметрами управления в экономико-математической модели построения логистической системы доставки контейнеров являются: количество контейнеров, перевозимых между портами x_{ik} ($i = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}$); количество контейнеров, перевозимых из портов назначения в РЦ – x_{kj} ($k = \overline{1, K}, j = \overline{1, N}$); количество паллет (тонн), перевозимых из РЦ конечным потребителям – y_{jl} ($j = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}$). Известна загрузка контейнера, которая равна q паллет. Следует отметить, что расположение РЦ может совпадать с расположением конечного потребителя.

Необходимо построить систему доставки груза в контейнерах с учетом требования минимизировать общие затраты (на транспортировку на всех этапах следования груза, обработку и хранение в РЦ).

Общая схема рассматриваемой ситуации представлена на рисунке.

Экономико-математическая модель задачи построения логистической системы доставки грузов в контейнерах имеет вид (1)-(7).

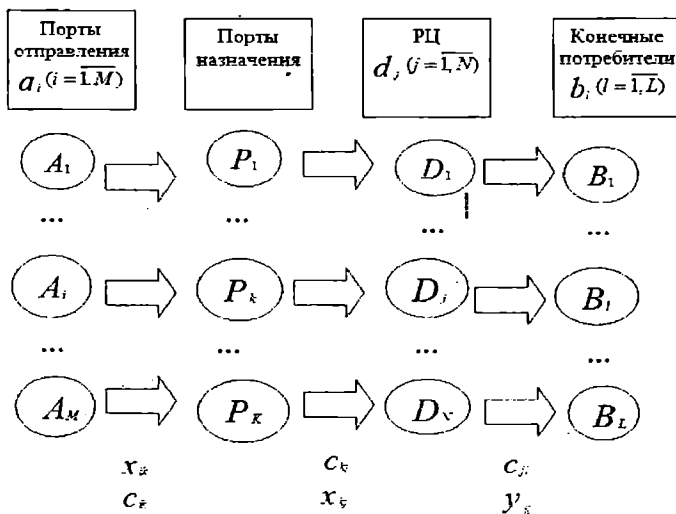


Рис. 1. Общая схема рассматриваемой ситуации

$$Z = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K c_{ik} \cdot x_{ik} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N c_{kj} \cdot x_{kj} + \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^L c_{jl} \cdot x_{jl} \Rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = a_i \quad (i = \overline{1, M}), \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ik} - \sum_{j=1}^N x_{kj} = 0 \quad (k = \overline{1, K}), \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} \cdot q \leq d_j \quad (j = \overline{1, N}), \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{kj} \cdot q - \sum_{l=1}^L y_{jl} = 0 \quad (j = \overline{1, N}), \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^N y_{jl} = b_l \quad (l = \overline{1, L}), \quad (6)$$

$$x_{ik} \geq 0 \quad (i = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}), \quad x_{kj} \geq 0 \quad (k = \overline{1, K}, j = \overline{1, N}),$$

$$y_{jl} \geq 0 \quad (j = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}), \quad (7)$$

$$x_{ik} - \text{целое} \quad (i = \overline{1, M}, k = \overline{1, K}), \quad x_{kj} - \text{целое} \quad (k = \overline{1, K}, j = \overline{1, N}),$$

$$y_{jl} - \text{целое} \quad (j = \overline{1, N}, l = \overline{1, L}).$$

(1) – целевая функция, минимизирующая общие расходы (на перевозку морем, перевалку и оформление в порту, перевозку наземным транспортом, обработку и хранение в распределительном центре);

(2) – ограничение по вывозу из портов отправления: все контейнеры должны быть вывезены;

(3) – балансовые ограничения по портам: все ввезенные в порты назначения контейнеры должны быть из них вывезены;

(4) – ограничение по пропускной способности РЦ: доступная емкость РЦ не должна быть превышена;

(5) – балансовые ограничения по РЦ: весь ввезенный в РЦ груз должен быть вывезен;

(6) – ограничение по удовлетворению в полном объеме потребностей потребителей;

(7) – условия неотрицательности переменных.

Заключение. Таким образом, выгоды от создания сети распределительных центров не вызывают сомнения, однако очевидно, что ее переусложнение также нецелесообразно, а структура должна быть обоснованной. Представленная в данной работе экономико-математическая модель обоснования месторасположения распределительных центров с учетом контейнерных перевозок позволяет определить оптимальную структуру сети распределения однородной продукции. С помощью этой модели возможно реорганизовать логистическую систему в соответствии с изменениями внешних либо внутренних факторов.

Дальнейшее развитие моделей данного класса предполагает рассмотрение более сложных многопродуктовых сетей распределительных центров.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Джонсон Д., Вуд Д.Ф., Вордлоу Д.Л., Мерфи-мл. П.Р. Современная логистика: Пер. с англ. [Текст] / Д. Джонсон, Д.Ф.Вуд, Д.Л., П.Р. Вордлоу Мерфи-мл. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 624 с.
2. Крикавський Є.В. Логістика. Основи теорії. [Текст] / Є.В. Крикавський. – Львів: Львівська політехніка, 2004. – 416 с.
3. Гаджинский А.М. Логистика. [Текст] / А.М. Гаджинский. – М.: Маркетинг, 2001. – 396 с.
4. Аникина Б.А. Логистика [Текст] / Б.А.Аникин, В.В. Дыбская, А.А.Колобов и др. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 352 с.
5. Миротин Л.Б. Основы логистики [Текст] / Л.Б. Миротин, В.И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 200 с.
6. Семенов А.И. Логистика. Основы теории: Учебник для вузов. [Текст] / А.И. Семенов, В.И. Сергеев. – СПб.: Издательство «Союз», 2001. – 544 с.
7. Миротин Л.Б. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах [Текст] / Л.Б. Миротин, В.А. Гудков, В.В. Зырянов и др. – Серия «Инженерная логистика». – М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 704 с.
8. Миротин Л.Б. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов. [Текст] / Л.Б. Миротин. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 448 с.
9. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики: Учебное пособие. – 2-е изд. [Текст] / В.С. Лукинский, В.В. Лукинский, Ю.В. Малевич, И.А. Пластунок, Н.Г. Плетнева. – СПб.: Питер, 2007. – 448 с.
10. Кириченко А.В. Перевозка экспортно-импортных грузов. Организация логистических систем. – 2-е изд., доп. и перераб. [Текст] / Под ред. А.В. Кириченко. – СПб: Питер, 2004. – 506 с.
11. Николайчук В.Е. Транспортно-складская логистика: Учебное пособие. [Текст] / В.Е. Николайчук. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о», 2006. – 452 с.
12. Нагорный Е.В. Критерий оценки эффективности функционирования схем доставки специфических грузов через передвижные распределительные центры [Текст] / Е.В. Нагорный, А.Н. Шептура, Д.А. Музылёв // Вестник ХНАДУ. – 2011. – № 53. – С.60-65.

13. *Ляшенко Н.И. Модель оптимизации трехуровневой подсистемы распределения в интегрированной логистической цепи поставок [Текст] / Н.И. Ляшенко // Развитие методов управления та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Вип. 24. – Одеса: ОНМУ, 2006. – С. 137-150.*

Стаття надійшла до редакції 08.01.2016

Рецензент – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Вищої математики та моделювання систем Одеського національного політехнічного університету **А.В. Усов**

УДК 65.012.34

Н.Н. Поддубная

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСЛОЖНЕННЫХ ПОСТАНОВОК ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Представлены экономико-математические модели усложненной транспортной задачи, позволяющие оптимизировать структуру логистических систем с участием морского транспорта путем выбора портов отправления и назначения и поставщиков, а соответственно, и маршрутов движения материальных потоков.

Ключевые слова: логистическая система, порты перевалки, поставщики, материальный поток.

Наведено економіко-математичні моделі ускладненої транспортної задачі, що дозволяють оптимізувати структуру логістичних систем за участю морського транспорту шляхом вибору портів відправлення і призначення і постачальників, а відповідно, і маршрутів руху матеріальних потоків.

Ключові слова: логістична система, порти перевалки, постачальники, матеріальний потік.

Mathematical economic models of complex transport task are presented. Models give an opportunity to optimize logistics system's structure involving sea transport by selecting ports of departure, ports of arrival, suppliers, and accordingly to it, routes of material flows' movement.

Keywords: logistic system, ports of transshipment, suppliers, material flow.

Постановка проблемы. В практике организации перевозок грузов нередко требуется при доставке грузов из одних пунктов в другие везти его через промежуточные пункты, которые чаще всего представляют собой порты (либо склады). Возможны разнообразные варианты постановки транспортной задачи с учётом этого требования.

Решение транспортной задачи позволяет определить структуру логистической системы с точки зрения определения участников, маршрутов движения материального потока, а также его объемов на отдельных ее участках.

Общая экономико-математическая модель транспортной задачи представлена в базовых трудах по исследованию операций [1; 2]. Применение усложненных постановок транспортной задачи и их усложненных постановок при решении задач на управления на морском транспорте представлено в источнике [3], где рассматривается оптимизация однородных грузопотоков, следующих через порты перевалки с учетом сбалансированности системы: суммарный объем груза в пунктах отправки равен суммарному его количеству в пунктах назначения.

Предприняты попытки адаптации моделей транспортного типа для обоснования отдельных параметров логистических систем [4-7]. Однако, экономико-математические модели усложненных постановок транспортной задачи обоснования логистических систем, позволяющие выбрать и поставщиков, и пункты перевалки не представлены.

Целью статьи является построение экономико-математических моделей на базе транспортной задачи, позволяющих обосновывать структуру логистических систем. Суть этих моделей состоит в нахождении оптимального маршрута доставки однородного груза из пунктов отправления в пункты назначения через порты с учетом требования выбора поставщика.

При этом следует учитывать, что решение такой задачи в рамках единой экономико-математической модели применительно к проблеме обоснования логистической системы должно предполагать:

1. Минимизацию общих расходов, поскольку именно этот критерий является соответствующим логистической концепции. Под общими расходами в данном случае подразумевается стоимость приобретения у поставщиков товара, расходы на перевозку, перевалку, экспедирование, таможенное оформление, складские операции и прочие, не являющиеся технологическими операциями при производстве.

2. Оптимизация маршрутов должна осуществляться при условии, что его движение начинается от источников (добывающих, производственных предприятий или распределительных центров, включая находящиеся в портах) и до стоков (производственных предприятий, распределительных центров, включая находящиеся в портах, или конечных потребителей). Если, например, конечными пунктами оптимизируемой системы являются порты, в которых принципиально осуществляется только перевалка по прямому или складскому варианту, то такая система не является логистической, так как поглощения материального потока не происходит.

3. У материального потока должен быть один собственник, поскольку минимизация общих расходов может происходить при их увеличении на отдельных этапах движения материального потока, перекрываемом уменьшением на других. Если расходы на этих участках несут различные субъекты экономической деятельности, то одни из них могут улучшить свои позиции, а другие ухудшить.

Лицо, которое имеет право собственности на материальные ценности, образующие поток в логистической системе, и несет расходы на всем пути его перемещения определяется базисными условиями поставки в договорах купли-продажи.

Примером применимости экономико-математических моделей усложненной транспортной задачи может служить следующая ситуация. Торговая компания закупает товары у нескольких поставщиков с целью дальнейшей перепродажи. Торговая компания планирует заключать с поставщиком договор купли-продажи, в котором будут определены

базисные условия поставки товара – «франко-завод». Условия «франко-завод» означают, что обязательства продавца по поставке считаются выполненными после того, как он предоставил покупателю товар на своем предприятии (склад, завод, фабрика), покупатель несет все расходы и риски, связанные с перевозкой товара от предприятия продавца до места назначения.

Далее торговая компания заключает договор купли-продажи с компанией-импортером в стране назначения. В этом договоре также будут оговорены базисные условия поставки СРТ – Carriage Paid To ... – перевозка оплачена до.... На основании этого базисного условия продавец обязан отправить товар за свой счет в установленный в контракте срок в согласованный пункт поставки в месте назначения. Покупатель несет все расходы с момента прибытия товара в пункт поставки.

В приведенной ситуации может решаться в рамках единой модели задача выбора поставщика и пунктов перевалки груза.

Изложение основного материала. Рассмотрим двухэтапную транспортную задачу с выбором поставщика. Пусть в пунктах $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m$ предъявлен однородный груз. Его надо завезти в порты $D_1, D_2, \dots, D_k, \dots, D_p$, а затем доставить потребителям, расположенным в пунктах $B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_n$.

Известны a_i ($i = \overline{1, m}$), b_j ($j = \overline{1, n}$) – объемы производства и потребления в каждом пункте, а также d_k ($k = \overline{1, p}$) – пропускные способности портов (квота для экспедитора в порту), c_{ik} ($i = \overline{1, m}, k = \overline{1, p}$), c_{kj} ($k = \overline{1, p}, j = \overline{1, n}$) – транспортные издержки за перевозку 1 тонны груза в порты и из портов в пункты назначения соответственно, а также стоимость приобретения 1 тонны товаров у поставщиков на условиях франко-завод – C_i ($i = \overline{1, m}$). Прямые перевозки из пунктов производства в пункты назначения, минуя пункты перевалки, невозможны. Необходимо удовлетворить требования по объемам поставки всех потребителей.

Требуется составить оптимальный план поставки грузов, минимизирующий общие затраты на закупку и перевозку на двух этапах. В результате решения задачи должны быть построены оптимальные маршруты доставки груза через порт перевалки и выбраны поставщики.

Рассматриваемая постановка задачи предполагает, что:

1) пропускная способность пунктов перевалки больше объема перевозок, т.е.

$$\sum_{k=1}^p d_k > \sum_{j=1}^n b_j.$$

В этом случае имеет место недоиспользование мощности пунктов перевалки, и схема перевозки грузов будет зависеть от схемы доставки грузов до порта, поэтому необходима оптимизация плана перевозки от пункта отправления к пункту получения в рамках одной модели.

2) предложение превышает спрос, т.е.

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j.$$

В этом случае необязательно все поставщики будут осуществлять поставку груза потребителям.

Итак, в качестве критерия оптимизации Z используется минимизация общих транспортных расходов и расходов на закупку. Смысл параметра управления – объем перевозок грузов; на 1 этапе отыскивается план перевозок от пункта отправления ($i = \overline{1, m}$) в пункты перевалки ($k = \overline{1, p}$), т.е. $\{x_{ik}\}$, а на 2 этапе – от пункта перевалки ($k = \overline{1, p}$) в пункт получения ($j = \overline{1, n}$) – $\{x_{kj}\}$.

Математическая модель многоэтапной транспортной задачи в рассматриваемом случае имеет вид

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p (C_i + c_{ik}) \cdot x_{ik} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n c_{kj} x_{kj} \Rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq a_i (i = \overline{1, m}); \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} \leq d_k (i = \overline{1, m}); \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} - \sum_{j=1}^n x_{kj} = 0 (k = \overline{1, p}); \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{kj} = b_j (j = \overline{1, n}); \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ik} = \sum_{j=1}^n b_j; \quad (6)$$

$$x_{ik} \geq 0 (i = \overline{1, m}; k = \overline{1, p}), x_{kj} \geq 0 (k = \overline{1, p}; j = \overline{1, n}) \quad (7)$$

где (1) Z_{min} – целевая функция, минимизирующая затраты на закупку и транспортные расходы на перевозки из пункта отправления в пункт назначения через пункты перевалки;

(2) – ограничения по наличию груза у каждого поставщика: объем вывезенного груза не должен превышать его наличие у поставщика;

(3) – ограничения о использовании пропускной способности (квоты) каждого пункта перевалки (порта) по прибытию грузов: объемы перевалки через каждый порт не должны превышать квоту для экспедитора в этом порту;

(4) – ограничения по ввозу и вывозу груза из портов: весь груз, ввезенный в каждый порт должен быть вывезен из него в полном объеме;

(5) – ограничения обязательного удовлетворения потребности каждого пункта назначения;

(6) – ограничение об общем объеме материального потока в системе: суммарное количество груза, вывезенного от поставщиков во все промежуточные порты должно быть равно суммарной потребности в нем у получателей;

(7) – условие неотрицательности переменных.

Рассмотрим трехэтапную транспортную задачу с выбором поставщика.

Пусть в пунктах производства $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m$ предъявлен однородный груз. Его надо завезти в порты отправления $D_1, D_2, \dots, D_k, \dots, D_p$, осуществить выгрузку в портах назначения $B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_n$, а затем доставить потребителям, расположенным в пунктах $F_1, F_2, \dots, F_l, \dots, F_L$.

Известны $a_i (i = \overline{1, m})$, $b_l (l = \overline{1, L})$ – объемы производства и потребления в каждом пункте, а также $d_k (k = \overline{1, p})$ – пропускные способности портов отправления (квота для экспедитора в портах отправления), $c_{ik} (i = \overline{1, m}, k = \overline{1, p})$, $c_{kj} (k = \overline{1, p}, j = \overline{1, n})$, $c_{jl} (j = \overline{1, n}, l = \overline{1, L})$ – транспортные издержки за перевозку 1 тонны груза в порты отправления, между портами и из портов назначения в пункты потребления, соответственно, а также стоимость приобретения 1 тонны товаров у поставщиков на условиях франко-завод – $C_i (i = \overline{1, m})$. Прямые перевозки из пунктов производства в пункты назначения, минуя пункты перевалки, невозможны. Необходимо удовлетворить требования по объемам поставки всех потребителей.

Требуется составить оптимальный план поставки грузов, минимизирующий общие затраты на закупку и перевозку на трех этапах. В результате решения задачи должны быть построены оптимальные маршруты доставки груза через порты перевалки и выбраны поставщики.

Рассматриваемая постановка задачи предполагает, что:

1) пропускная способность пунктов перевалки больше объема перевозок, т.е.

$$\sum_{k=1}^p d_k > \sum_{j=1}^n b_j.$$

В этом случае имеет место недоиспользование мощности пунктов перевалки, и схемы перевозки на этапах будут взаимозависимы, поэтому необходима оптимизация плана перевозки от пункта отправления к пункту получения в рамках одной модели;

2) предложение превышает спрос, т.е.

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j.$$

В этом случае необязательно все поставщики будут осуществлять поставку груза потребителям;

3) имеется квота для экспедитора в портах отправления;

4) в портах назначения возможный объем перевалки не ограничивается.

Итак, в качестве критерия оптимизации Z используется минимизация общих транспортных расходов и расходов на закупку. Смысл параметра управления – объем перевозок грузов; на 1 этапе отыскивается план перевозок от пункта отправления ($i = \overline{1, m}$) в порты отправления ($k = \overline{1, p}$), т.е. $\{x_{ik}\}$, а на 2 этапе – от порта отправления ($k = \overline{1, p}$) в порты назначения ($j = \overline{1, n}$) – $\{x_{kj}\}$, на 3 этапе – от портов назначения ($j = \overline{1, n}$) в пункты потребления ($l = \overline{1, L}$) – $\{x_{jl}\}$.

Математическая модель трехэтапной транспортной задачи с выбором поставщика в рассматриваемом случае имеет вид

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p (C_i + c_{ik}) \cdot x_{ik} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n c_{kj} x_{kj} + \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L c_{jl} x_{jl} \Rightarrow \min \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq a_i \quad (i = \overline{1, m}); \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} \leq d_k \quad (k = \overline{1, p}); \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} - \sum_{j=1}^n x_{kj} = 0 \quad (k = \overline{1, p}); \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{kj} - \sum_{l=1}^L x_{jl} = 0 \quad (j = \overline{1, n}); \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jl} = b_l \quad (l = \overline{1, L}); \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ik} = \sum_{l=1}^L b_l; \quad (14)$$

$$\begin{aligned} x_{ik} \geq 0 \quad (i = \overline{1, m}; k = \overline{1, p}), x_{kj} \geq 0 \quad (k = \overline{1, p}; j = \overline{1, n}), \\ x_{jl} \geq 0 \quad (j = \overline{1, n}; l = \overline{1, L}) \end{aligned} \quad (15)$$

где (8) Z_{min} – целевая функция, минимизирующая затраты на закупку и транспортные расходы на перевозки из пункта отправления в пункты назначения через пункты перевалки;

(9) – ограничения по наличию груза у каждого поставщика: объем вывезенного груза не должен превышать его наличие у поставщика;

(10) – ограничения о использовании пропускной способности (квоты) каждого пункта перевалки (порта) по прибытию грузов: объемы перевалки через каждый порт не должны превышать квоту для экспедитора в этом порту;

(11) – ограничения по ввозу и вывозу груза из портов отправления: весь груз, ввезенный в каждый порт отправления, должен быть вывезен из него в полном объеме;

(12) – ограничения по ввозу и вывозу груза из портов назначения: весь груз, ввезенный в каждый порт назначения, должен быть вывезен из него в полном объеме;

(13) – ограничения обязательного удовлетворения потребности каждого пункта назначения;

(14) – ограничение об общем объеме материального потока в системе: суммарное количество груза, вывезенного от поставщиков во все промежуточные порты должно быть равно суммарной потребности в нем у потребителей.

(15) – условие неотрицательности переменных.

Заключение. Применение математических моделей транспортной задачи возможно для решения самых разнообразных вопросов, таких как рационализация поставок важнейших видов продукции, разработка оптимальных планов перевозок, оптимизация схем грузопотоков для отдельных видов транспорта, оптимизация маршрутов движения транспортных средств, выбор оптимального порта перевалки, выбор вида транспорта для перевозок грузов. При использовании моделей транспортной задачи одним из главных вопросов является выбор и обоснование критерия оптимизации. Обоснование выбора критерия оптимизации процедура, которая не может быть полностью формализована, она должна выполняться тщательно, с учётом знания системы показателей работы транспорта, порта и взаимосвязей между ними. Общий подход к выбору и обоснованию критерия оптимизации обычно основывается на учёте следующих обстоятельств. В качестве критерия выбирается только такой показатель, который может быть количественно измерен. Чаще всего выполняется обоснование одного показателя, принимаемого в качестве критерия, реже – группы критериев, в зависимости от этого говорят о задачах с одним критерием или многокритериальных. Иногда говорят об эквивалентных критериях, разных по смыслу, но таких, при которых формируется одинаковое предпочтение на загрузку клеток и следовательно, один и тот же оптимальный план.

Дальнейшее развитие моделей данного класса предполагает рассмотрение постановок задачи с использованием других критериальных показателей, а также с учетом дополнительных ограничений.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Таха Хемди А. Введение в исследование операций [Текст] / А. Таха Хемди. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
2. Кремер Н.Ш. Исследование операций в экономике: Учебное пособие для вузов [Текст] / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путько, И.М. Тришин, М.Н. Фридман. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1999. – 407 с.
3. Воевудский Е.Н. Экономико-математические методы и модели в управлении [Текст] / Е.Н. Воевудский, Н.А. Коневцева, Г.С. Махуренко, И.П. Тарасова. – М.: Транспорт, 1988. – 384 с.
4. Миротин Л.Б. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах [Текст] / Л.Б. Миротин, В.А. Гудков, В.В. Зырянов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 704 с.
5. Миротин Л.Б. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов [Текст] / Л.Б. Миротин. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 448 с.
6. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики: Учебное пособие. [Текст] / В.С. Лукинский. – СПб.: Питер, 2007. – 448 с.
7. Николайчук В.Е. Транспортно-складская логистика: Учебное пособие [Текст] / В.Е. Николайчук. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о», 2006. – 452 с.

Стаття надійшла до редакції 18.12.2015

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Вищої математики та моделювання систем Одеського національного політехнічного університету **А.В. Усов**

УДК 629.5.068.4

Л.В. Пизинцали

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ СУДОВ
НА ОСНОВЕ РЕЗОЛЮЦИЙ ИМО
ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА УТИЛИЗАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

В статье рассмотрены существующие в настоящее время требования, которые создают условия безопасной утилизации судов на основе Резолюции А.962(23) и Резолюции А.980(24).

Ключевые слова: Конвенция, Резолюция, утилизация, утилизационное предприятие, экологическая безопасность, учетная запись опасных материалов.

У статті розглянуті існуючі в даний час вимоги, які створюють умови безпечної утилізації суден на основі Резолюції А.962 (23) і Резолюції А.980 (24).

Ключові слова: Конвенція, Резолюція, утилізація, утилізаційне підприємство, екологічна безпека, обліковий запис небезпечних матеріалів.

The article deals with the currently existing requirements to create conditions for safe disposal of vessels on the basis of Resolution A.962 (23) and A.980 Resolution (24).

Keywords: Convention, Resolution, recovery and recycling facility, environmental safety, account of hazardous materials.

Введение и актуальность. Проблема безопасной утилизации судов становится достаточно актуальной, поскольку заканчивается установленный срок эксплуатации судов, не отвечающих новым международным конвенционным требованиям [1].

Большое значение в решении этой проблемы будет иметь нормативно-правовое обеспечение процессов утилизации судов, чем в настоящее время активно занимается Международная морская организация (ИМО) и Международная организация труда (МОТ). Итогом усилий международного сообщества по этому вопросу является принятие 15 мая 2009 г. Гонконгской международной конвенции о безопасной и экологически рациональной утилизации судов (далее – Конвенция) [2].

Целью статьи является показать нормы безопасной утилизации судов на основе принятых Резолюций, а также показать главные правила, которые судовладельцы должны будут соблюдать – наличие УЗОМ и плана утилизации на каждом судне.

Изложение основного материала. Конвенция включает в себя основные правовые механизмы для стран-участниц, а также правила для

судов и предприятий по утилизации (УП). Кроме того, в настоящее время ИМО разработан комплекс добровольных руководящих принципов, дающих разъяснения, толкования, а также единые правила для технических вопросов, вытекающих из положений Конвенции [3]:

- Руководство по разработке Учетной записи опасных материалов (УЗОМ), принятое Резолюцией МЕРС. 197 (62), 2011 г.;
- Руководство по разработке плана утилизации судна, принятое Резолюцией МЕРС. 196 (62), 2011 г.;
- Руководство по безопасной и экологически рациональной утилизации судов, принятое Резолюцией МЕРС. 210 (63), 2012 г.;
- Руководство по предоставлению полномочий предприятиям по утилизации судов, принятое Резолюцией МЕРС. 211 (63), 2012 г.;
- Руководство по освидетельствованию и выдаче свидетельств судам под Гонконгской конвенцией, принятое Резолюцией МЕРС. 222 (64), 2012 г.

Основные элементы, лежащие в основе механизмов Конвенции, представлены на схеме рис. 1.

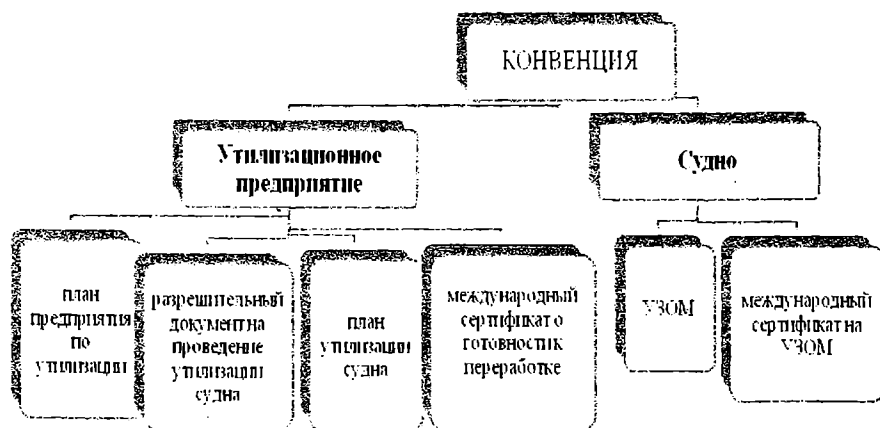


Рис.1. Основные элементы механизмов Конвенции

Цели УЗОМ состоят в том, чтобы предоставить для судна определенную информацию о фактических опасных материалах на борту, чтобы защитить здоровье и обеспечить безопасность и предотвратить экологическое загрязнение на предприятиях по утилизации судов. Эта информация будет использоваться на предприятии по утилизации, чтобы решить, как управлять типами и количеством материалов, идентифицированных в УЗОМ.

Обязательные действия, документы, планы, правила для судов и УП приведены в таблице 1.

*Обязательные действия, документы, планы, правила
для судов и УП согласно Гонконгской Конвенции 2009 года*

КОНВЕНЦИЯ	
1. Судно:	<ul style="list-style-type: none">– должно быть сертифицировано, как готовое к утилизации компетентным органом государства флага (положение 8.6);– обязано иметь УЗОМ определенную для каждого судна, которая включает:<ul style="list-style-type: none">• список опасных материалов, установка и использование которых запрещены или ограничены на верфях, СРЗ и судах государств, подписавших Конвенцию;• начальный осмотр по проверке УЗОМ;• дополнительные осмотры по проверке УЗОМ;• конечный осмотр по проверке УЗОМ.
2. УП:	<ul style="list-style-type: none">– должно иметь разрешение на проведении утилизации в соответствии с Конвенцией (ст. 6);– должно быть полностью уполномочено осуществлять все виды деятельности по утилизации судов, указанные в плане утилизации судна;– обязано подготовить план предприятия по утилизации судна (Приложение 18);– обязано подготовить план утилизации для соответствующего судна (положение 9.1) с соответствующей информацией по:<ul style="list-style-type: none">• созданию безопасных условий прибытия судна;• выполнению работ при горячей обработке• характеру и количеству опасных материалов, указанных в перечне, разрешенных к переработке на этом предприятии;• методам и способам утилизации данного судна;– принять и осуществлять соответствующие процедуры и планы по предупреждению таких опасных ситуаций, как взрывы и пожары или аварии, разливы и выбросы, которые могут причинить ущерб здоровью людей и/или окружающей среде (положение 19);– принять и осуществлять соответствующие процедуры и планы по безопасному и экологически рациональному использованию опасных материалов (положение 20);– должно обеспечить готовность к чрезвычайным ситуациям и реагирования на них (положение 21);– обеспечить безопасность и профессиональную подготовку работников (положение 22);– должно предоставлять отчетность о несчастных случаях, авариях, профессиональных заболеваниях и хронических последствиях работ при утилизации судов (положение 23).

Конвенция вступит в силу через 24 месяца после того, как 15 государств, представляющих собой 40 % мирового торгового флота по валовой вместимости, либо подпишут ее без оговорок в отношении ратификации, принятия или одобрения, либо передадут Генеральному секретарю документы о ратификации, принятии, одобрении или присоединении.

Общий максимальный годовой объем утилизации судов этих государств должен в течение десяти предшествующих лет составлять не менее 3 % от общей валовой вместимости их торговых флотов (ст. 17).

С 1 января 2014 г. начали действовать новые правила Европейского Союза (ЕС) по утилизации судов. Требования правил в основном приведены в соответствие с Гонконгской конвенцией ИМО по утилизации судов [3].

Согласно новым правилам на борту судна должна быть УЗОМ и сертификат на нее, а также будет составлен лист предприятий, на которых владельцы европейских судов смогут проводить утилизацию судов. В свою очередь судовладельцы должны будут заранее предоставлять списки судов, отправляемых на переработку, с тем, чтобы сделать более легким процесс выявления нелегальной утилизации.

Анализ других источников, касающихся проблемы утилизации судов, показал, что на сегодняшний день требования к судовым конструкциям, механизмам, устройствам и системам, обеспечивающие безопасность разделки судов, в правилах российских и иностранных классификационных обществ отсутствуют или находятся в стадии разработки [2].

Отсутствие таких требований и разработанных на их основе правил, равно как проектирование и постройка судов без учета необходимости их утилизации в дальнейшем и связанных с этим процедур, создают дополнительные технические сложности, а также риски для окружающей среды и производственного персонала.

В соответствии с рекомендациями Резолюции А.980(24) «Поправки к руководству ИМО по утилизации судов (Резолюция А.962(23))», принятой в декабре 2005 года и Гонконгской международной конвенции о безопасной и экологически рациональной утилизации судов государства, в которых производится утилизация судов, должны определить компетентные органы, которые будут выполнять функцию по наблюдению и контролю в области безопасной утилизации судов.

Таким компетентным органом по нашему мнению должен быть регистр. При выполнении этой функции регистр в результате освидетельствования новых и эксплуатирующихся судов может выдавать судовладельцам документ, подтверждающий безопасность утилизации судна, предъявлять требования при подготовке к утилизации судна, при этом предприятие по утилизации должно иметь Свидетельство о признании регистра на выполнение этих работ.

Таким образом, для сведения к минимуму негативного воздействия на человека и окружающую среду процесса утилизации судна в Правилах регистра могут быть включены Правила безопасной утилизации судов [3].

Правила безопасной утилизации судов (далее – Правила), по мнению авторов [3], должны включать:

- конкретные указания и требования к судовым конструкциям, механизмам, устройствам и системам, выполнение которых в проектах новых судов будет способствовать безопасной для окружающей среды и производственного персонала разделке этих судов в будущем, после их списания из состава флота;
- указания по оформлению и ведению УЗОМ;
- указания по разработке проекта утилизации судна и подготовки его к утилизации;
- требования к предприятиям по разделке судов;
- приложения, содержащие рекомендуемую форму «Учетной записи опасных материалов», «Элементы, которые должны быть перечислены в учетной записи опасных материалов», «Рекомендации по безопасному входу в закрытые помещения на разделяемых судах», рекомендуемую форму разрешения на вход в закрытое помещение на судах, декларации материалов, образец титульной страницы плана утилизации судна и «Принципы проведения огневых работ на разделяемых судах всех типов».

Правила распространяются на проектируемые и строящиеся суда и исключают или сводят к минимуму негативное воздействие на человека и окружающую среду процесса разделки судна после выработки им ресурса и исключения из списков флота.

Правила в полном объеме должны распространяться на новые и существующие модернизируемые и переоборудуемые суда внутреннего и смешанного (река-море) плавания с классом регистра.

Для достижения целей сведения к минимуму негативного воздействия на человека и окружающую среду процесса разделки судна после выработки им ресурса и исключения из списков флота ключевое значение имеет УЗОМ.

Согласно [1; 5] на судне должна быть УЗОМ, содержащая информацию о вредных материалах, имеющихся на судне. Для новых судов УЗОМ должна разрабатываться на стадии проектирования и строительства. Для существующих судов – судовладельцем (с привлечением организации, имеющей свидетельство о признании Регистра на такого рода деятельность). УЗОМ должна сопровождать судно в течение всего срока эксплуатации и предоставляться вместе с судном на предприятие по разделке.

УЗОМ судна должен содержать, по меньшей мере, следующую информацию [4]:

1. Сведения о судне:

- название государства, под флагом которого судно имеет право плавать;
- дату, в которую судно было зарегистрировано в этом государстве;
- дату, в которую судно было исключено из реестра этого государства;
- опознавательный номер судна (номер ИМО);
- о местонахождении и приблизительном количестве/объеме каждого – номер корпуса при первоначальной поставке судна;
- название и тип судна;
- порт, к которому судно приписано;
- наименование собственника судна и его адрес;
- наименование всех классификационных обществ, которые присвоили судну класс;
- основные сведения о судне (общая длина, ширина (теоретическая), высота борта (теоретическая), водоизмещение порожнем);
- наименование и адрес судостроителя.

2. Кадастр материалов, известных как потенциально опасные, содержащий сведения выявленного материала на судне, который состоит из следующих частей:

Часть 1 – Потенциально опасные материалы в конструкции и оборудовании судна.

Часть 2 – Отходы, образующиеся во время эксплуатации.

Часть 3 – Запасы.

Любые изменения, относящиеся к части 1 кадастра, должны регистрироваться, с тем, чтобы обеспечить обновленную и текущую информацию вместе с историей изменений.

Часть 1 кадастра потенциально опасных материалов, присутствующих в конструкции и оборудовании судна, должна подготавливаться:

1 для новых судов – судостроителем, по консультации с изготовителями оборудования, на стадии постройки и передаваться собственнику судна;

2 для существующих судов – собственником судна, насколько это практически возможно и целесообразно, посредством ссылки на судовые планы, чертежи, руководства, технические требования и манифесты судовых запасов, по консультации с судостроителем, изготовителями оборудования и другими соответствующими сторонами [5].

Части 2 и 3 должны подготавливаться собственником судна до последнего рейса судна к утилизационному предприятию.

Государство, осуществляющее утилизацию, должно ввести национальные правила в отношении состояния судов, покупаемых для утилизации, как во время покупки, так и во время доставки. Фактически го-

сударство, осуществляющее утилизацию, должно ставить любые условия, которые оно считает необходимыми, до окончательного оформления контракта.

Опись потенциально опасных материалов, которая должна быть доставлена на УП последним собственником судна, должна содержать информацию о материалах на судне, которую может запросить государство, осуществляющее утилизацию. Государство, осуществляющее утилизацию, должно убедиться, что утилизационные предприятия могут безопасно и законно обращаться с любыми потенциально опасными отходами, которые могли образоваться в ходе операции по утилизации, до окончательного оформления контракта.

В своем национальном законодательстве государства, осуществляющие утилизацию, должны установить условия, согласно которым суда могут быть в них импортированы для утилизации, а также определить надлежащие требования гигиены и охраны труда рабочих и обеспечить их выполнение.

Государства, осуществляющие утилизацию, должны требовать от утилизационных предприятий каждого судна до окончательного оформления контракта с целью убедиться, что любые потенциально опасные материалы, выявленные на борту судна, могут быть безопасно и законно обработаны экологически обоснованным образом. Эта проверка должна удостоверить, что фактическое состояние судна соответствует настоящему и другим соответствующим международным руководствам и что национальные требования выполнены. УП отвечает за надлежащее обращение с любыми опасными материалами, которые указаны в плане утилизации или образовались в ходе операции по утилизации [5].

Кроме УЗОМ, важным документом, обеспечивающим безопасность утилизации судна, является План утилизации, который должен быть разработан и согласован с регистром.

План утилизации должен [3]:

– разрабатываться с учетом потенциальных опасностей, которые могут возникнуть в ходе разделки и требований действующего законодательства и международных конвенций по обращению с потенциально вредными материалами и отходами, образующимися в процессе разделки судов.

– составляться с учетом УЗОМ, сведений о судовом оборудовании, количестве и относительной опасности потенциальных загрязнителей окружающей среды, а также действующих требований по обеспечению безопасности производственного персонала.

– предусматривать:

1) оформление документации на передачу судна от судовладельца предприятию по разделке;

2) разработку документации по судну, связанной с обеспечением его плавучести и остойчивости (при необходимости) для выполнения

ремонтно-восстановительных работ, необходимых для транспортировки судна к месту разделки и т. д.;

3) разработку проекта полигона по разделке (с учетом индивидуальных особенностей разделяемого судна);

4) разработку проектов работ по изготовлению склизов, мест для обсушки, устройства коммуникаций и т. д. (с учетом индивидуальных особенностей разделяемого судна);

5) разработку мероприятий по обеспечению экологической безопасности и безопасности для персонала при выполнении работ по разделке судна, в том числе в случае возникновения чрезвычайных ситуаций;

6) разработку принципиального технологического процесса разделки судна, в том числе схемы разбивки корпуса и надстроек на разделяемые элементы;

7) разработку маршрутной и операционной документации разделки или типовых технологических процессов разделки;

8) определение видов и расчет объемов материалов, потенциально пригодных для переработки, а также не утилизируемых материалов (сепарация);

9) разработку маршрутной и операционной документации на захоронение не утилизируемых отходов.

До подписания контракта на разделку судно должно быть сертифицировано, как готовое к утилизации компетентным органом государства флага (положение 8.6), должно быть оценено техническое состояние судна. При обнаружении состояния, угрожающего безопасности и здоровью персонала на предприятии по разделке, такое состояние должно быть либо исправлено судовладельцем, насколько это возможно, либо о таком состоянии судна судовладелец должен сообщить на предприятие по разделке для принятия соответствующих мер безопасности.

Имеющиеся на судне потенциально вредные материалы, которые не могут быть безопасно удалены с судна и переработаны предприятием по разделке, судовладелец удаляет самостоятельно, с соблюдением действующего законодательства и международных конвенций или сводит к минимуму по количеству и местам расположения и информирует предприятие по разделке для принятия необходимых мер безопасности.

До начала постройки нового судна регистру представляется на рассмотрение проектная документация (чертеж разбивки корпуса на разделяемые элементы, план второго дна, схемы осушки корпуса и трубопроводов общесудовых систем, схемы маркировки кабелей и др.) и УЗОМ.

До начала разделки существующего судна регистру представляется на рассмотрение следующая документация:

– акт внеочередного освидетельствования судна на разовый переход до УП;

- документ согласования с УП докового веса предназначенного к разделке судна;
- УЗОМ;
- удостоверение о взрывобезопасности судовых помещений;
- проектная документация (план утилизации судна, теоретический чертеж, конструктивный чертеж, чертежи продольного и поперечного сечений, чертеж разбивки корпуса на секции и блоки, чертеж разбивки корпуса на разделяемые элементы, план второго дна, схемы осушки корпуса и трубопроводов судовых систем, схемы маркировки кабелей и др.);
- гарантийные обязательства по обеспечению плавучести с указанием срока обеспечения плавучести;
- акты анализа проб воздуха в топливных танках и других судовых помещениях.

Для обеспечения безопасности при утилизации судна на УП должны предусматриваться меры по контролю таких предприятий (по рекомендации международных документов).

Данную функцию может взять на себя регистр, установив необходимость получать свидетельство о признании организаций, занимающихся утилизацией судов [4].

Свидетельство о признании регистром подтверждает полномочия предприятия по безопасной разделке судов определенных типов, классов и размеров. При этом предприятие по разделке должно:

- располагать возможностями для самостоятельной или с привлечением проектных организаций разработки проекта разделки судов, удаления с них и надлежащей переработки любых потенциально вредных материалов;
- иметь возможности для разделки судов разными методами;
- обеспечить возможность контроля за разделкой судов со стороны компетентных органов.

Для подтверждения соответствия судна Правилам безопасной утилизации судов регистру необходимо выдавать подтверждающий документ – Свидетельство о соответствии Правилам безопасной утилизации судов при первоначальном (при проектировании и строительстве судна), классификационном (при эксплуатации и ремонте) и внеочередном (при списании) освидетельствовании при снятии с учета судов, имеющих действующие документы регистра.

Выводы

1. Основными элементами, лежащими в основе механизмов Конвенции по утилизации судов являются: план предприятия по утилизации, разрешительный документ на проведение утилизации судна, план утилизации судна, международный сертификат о готовности к переработке.

2. Наличие УЗОМ на каждом судне и подготовка Плана утилизации судна – главные правила, которые судовладельцы должны будут обязательно соблюдать при разделке судов на УП.

3. В настоящее время, требования Конвенций ИМО, Резолюций, большое наличие устарелых судов создают необходимость принятия норм, регулирующих вопросы безопасной утилизации судов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Руководство ИМО по разделке судов: Резолюции и другие решения 23-й Ассамблеи 24 ноября – 5 декабря 2003 года. Резолюции 936 – 965– ИМО. – Лондон, 2004. – 136 с.*
2. *Гредасова И.Б. Анализ требований безопасности при утилизации судов / И. Б. Гредасова // Журнал Университета водных коммуникаций. – СПб.: ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. – Вып. 3. – 2012. – С. 185-188.*
3. *Наумов В.С. Перспектива нормативно-правового регулирования безопасной утилизации судов / В.С. Наумов, И.Б. Кочнев // Вестник ГУМРФ имени адмирала Макарова. – СПб. – Вып. № 4 (26). – 2014. – С. 32-37.*
4. *Пизинцали Л.В. Подготовка «Зеленого паспорта» как процедуры международных требований к организации предприятий по утилизации судов /Л.В. Пизинцали // Одесса: Вісник ОНМУ. – Вып. 2 (44). – 2015. – С. 177-186.*
5. *Резолюция А.980(24) поправки к руководству ИМО по утилизации судов (Резолюция А.962(23)). – ИМО. – Лондон, 2006. – 200 с.*

Стаття надійшла до редакції 15.01.2016

Рецензентя:

доктор технічних наук, професор, проректор з навчально-організаційної роботи, професор кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету **А.В. Шахов**

доктор технічних наук, професор кафедри «Бізнесадміністрування та корпоративна безпека» Міжнародного гуманітарного університету **А.І. Рибак**

АВТОРИ

Андрєєв Олексій Вікторович – кандидат технічних наук, заступник головного спеціаліста по композиційним матеріалам Державного підприємства «Антонов»

Анісімов Костянтин Іванович – доцент кафедри Енергетичного та водногосподарчого будівництва Одеської державної академії будівництва та архітектури

Бичков Андрій Сергійович – кандидат юридичних наук, заступник завідувача лабораторії інженерних, економічних, товарознавчих випробувань та оціночної діяльності, завідувач відділу криміналістичних випробувань транспортних засобів та супроводжуючих їх реєстраційних Державного науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України

Вичужанін Володимир Вікторович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету

Гудилко Роман Григорович – аспірант кафедри Суднових допоміжних механізмів Національного університету «Одеська морська академія»

Єгоров Геннадій В'ячеславович – доктор технічних наук, професор, генеральний директор Морського інженерного бюро, м. Одеса

Єфремова Ніна Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

Каніфольський Олександр Олегович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

Кондратьєв Андрій Валерійович – доктор технічних наук, завідувач кафедри Конструкцій та проектування ракетної техніки Національного аерокосмічного університету ім. Н.С. Жуковського «ХАІ»

Крисюк Лариса Михайлівна – кандидат економічних наук, доцент кафедри «Фінансово-економічна безпека, облік та аудит» Одеського національного морського університету

АВТОРИ

Мустафаєв Вюсал Октай огли – магістр, Азербайджанська державна морська адміністрація

Нікул Станіслав Олексійович – начальник кафедри ракетно-артилерійського озброєння (РАО) Одеської воєної академії, полковник

Панова Ірина Миколаївна – викладач вищої категорії, методист, голова циклової комісії спеціальності «Будівництво гідротехнічних споруд» Морехідного коледжу технічного флоту НУ «ОМА»

Петров Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, професор Національного університету «Одеська морська академія» (НУ «ОМА») професор кафедри «Морські перевезення» НУ «ОМА», академік Транспортної академії України, член Морського інституту Великобританії, капітан далекого плавання

Піддубна Наталія Миколаївна – виконуюча обов'язки старшого викладача кафедри «Системний аналіз та логістика» Одеського національного морського університету

Пізнцалі Людмила Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету

Пітерська Варвара Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Комерційне забезпечення транспортних процесів» Одеського національного морського університету

Синиця Роман Валерійович – асистент кафедри Енергетичного та водногосподарчого будівництва Одеської державної академії будівництва та архітектури

Слободяник Ганна Валеріївна – асистент кафедри «Морські і річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація» Одеського національного морського університету

Стрельцов Павло Маркович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Підйомно-транспортні машини та інжиніринг портового технологічного обладнання» Одеського національного морського університету

Титов Сергій Димитрович – доцент кафедри «Вища математика» Миколаївського національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова

АВТОРИ

Шарифов Захид Зиядхан огли – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи та міжнародних відносин Азербайджанської державної морської академії

Челабчі Володимир Вікторович – старший викладач кафедри «Технічна кібернетика» Одеського національного морського університету

Чернова Любава Сергіївна – аспірант кафедри «Управління проектами» Миколаївського національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова

ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

Редакційна колегія збірника наукових праць запрошує науковців до співробітництва в галузі інформування науково-технічної громадськості про нові теоретичні і практичні досягнення у сфері функціонування різних видів транспорту.

У журналі публікуються оригінальні та оглядові статті проблемного і дискусійного характеру.

Статті публікуються на одній з трьох мов: українській, російській або англійській.

Стаття повинна задовольняти вимогам ВАК України до публікацій статей у періодичних наукових виданнях.

Редакційна колегія приймає лише наукові статті, які мають **такі елементи**: постановка проблеми, огляд останніх досліджень і публікацій з цієї проблеми, формулювання завдання дослідження, виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів, висновки з цього дослідження, список використаних джерел.

Стаття має відповідати тематичному спрямуванню збірника і бути завізована власноручно підписом автора.

Матеріал необхідно викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літературні джерела. Одиниці виміру слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI або в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно до вимог чинних державних стандартів.

Рекомендований обсяг статті, що включається у збірник, **не менше 6 та не більше 15 сторінок**.

Для опублікування у збірнику необхідно до підписаної всіма авторами статті та рефератів додати такі документи:

- ✓ експертний висновок;
- ✓ 2 рецензії фахівців з науковим ступенем за профілем статті (бажано докторів технічних наук), завірені печаткою;
- ✓ рекомендацію відповідної кафедри, лабораторії або наукового підрозділу, що рекомендує статтю до друку;
- ✓ авторську довідку, якщо автор подає рукопис до Видавництва ОНМУ вперше, з зазначенням місця роботи, посади, вчених ступенів і звань, адрес і телефонів.

Рішення про публікацію статті у збірнику приймає редакційна колегія на підставі висновку рецензентів про її наукове та практичне значення.

ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

Вимоги до оформлення тексту статті

Редакційна колегія приймає до роботи диски і один примірник роздрукованого текстового оригіналу (файлів), що є на диску. Текстовий редактор **Word** – файли в форматі (Word 97-2003 & 6.0/95 RTF).

Необхідно додержуватись головної вимоги – відповідність шрифтів документа його формату. Оформлення рівнозначних фрагментів документа (заголовків, підписів під рисунками, формул тощо), позначень ідентифікаторів перемінних та констант повинно бути однаковим по всій роботі. Одна і та ж величина (фізична, хімічна, економічна тощо) повинна мати однакове начертання літер.

Текст набирається з додержанням нижченаведених правил:

- ✓ абзаци відокремлюються один від одного одним маркером кінця абзацу (застосування цього символу в інших цілях не допускається);
- ✓ усі слова всередині абзацу розділяються тільки одним пробілом;
- ✓ перед розділовим знаком пробіли не ставлять, після розділового знака – один пробіл;
- ✓ після ініціалів (перед прізвищем), перед скороченнями і між ними ставиться нерозривний пробіл;
- ✓ виділення курсивом, напівжирним, великими літерами забезпечуються засобами Word.

Розміри полів на сторінках видання

Розмір паперу – формат А4 210 x 297 мм.

- ✓ верхнє – 2 см;
- ✓ нижнє – 3 см;
- ✓ ліве – 2,5 см;
- ✓ праве – 1,5 см.

Стиль, рекомендований для друку – Times New Roman, 14 пт; рядковий;

- вирівнювання – по ширині;
- міжрядковий інтервал – одинарний;
- заборона висячих рядків;
- режим переносу слів – відключений.

Розстановка переносу слів ручним способом забороняється!

У лівому куті статті зверху проставляється індекс УДК, ініціали та прізвища авторів передують заголовку і друкуються рядковими літерами – по центру.

**ВИМОГИ
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ**

Назва статті

- ✓ відступ – 0,75;
- ✓ шрифт – Arial Суг, 14 пт, великий;
- ✓ напівжирний;
- ✓ вирівнювання – по центру.

Редакційна колегія звертає увагу авторів на те, що назва статті повинна коротко і максимально точно відображати суть проведених досліджень.

Анотація складається обов'язково трьома мовами: українською, російською обсягом 50-60 слів. Обсяг англійської анотації має бути розширеним – 100-250 слів.

Анотації повинні бути:

- інформативними (не містити загальних, нічого не значущих слів);
- змістовними (відображати основний зміст статті і результати досліджень);
- структурованими та компактними;
- англійська анотація повинна бути написана якісно.

Ключові слова – обов'язково трьома мовами: українською, російською та англійською (5-10 слів) наводяться після анотації.

Основний текст відображує зміст статті та нові наукові досягнення. У статті рекомендується виділення основних розділів:

Вступ

Аналіз основних досягнень і літератури

Мета дослідження, постановка задачі

Матеріали досліджень

Результати досліджень

Висновки

Текст статті починається через один порожній рядок після ключових слів анотації.

Назви розділів друкуються жирним шрифтом. Посилання в тексті на рисунки та таблиці мають вигляд (рис. 1), (табл. 1), або (див. рис.1, а); (у табл. 2). Посилання на літературу надаються у квадратних дужках, наприклад, у [3], у [4; 6], або [2-5].

У тексті рекомендується використовувати тире середньої довжини.

ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

Розміри для введення формул

- ✓ основний – 16 пт;
- ✓ крупний індекс – 12 пт;
- ✓ дрібний індекс – 10 пт;
- ✓ крупний символ – 18 пт;
- ✓ дрібний символ – 14 пт;
- ✓ перемінна – курсив (на 2 пт більше базового);
- ✓ функція и константи – прямий шрифт (на 2 пт більше базового);
- ✓ скорочення в індексах – прямий шрифт.

Математичні формули набирають тільки вбудованим редактором формул Microsoft Equation 3.0. Вони потребують однакового написання та розміщення елементів. Індекси та показники степеня повинні бути однаковими за розміром, але не більше ніж у два рази меншими за основну строку формули та однаково опущеними чи піднятими по відношенню до лінії основного рядка формули, щоб при зменшенні в 1,5 рази вони безпомилково читались.

Номери формул позначають арабськими цифрами у круглих дужках, розташовуючи їх біля правого краю полоси. У разі, якщо номер не вміщується у рядку формули, його виділяють у наступний за формулою черговий рядок. Біля формули, що займає декілька рядків, номер ставлять біля останнього рядка, біля формули-дроби – навпроти основної ділильної лінійки. Невеликим формулам у одному рядку, якщо вони складають єдину групу, присвоюють один загальний номер. Групу формул, розташованих окремими рядками, охоплюють справа чи зліва парантезом і номер групи розташовують проти його вістря, а якщо парантеза справа нема – проти середини цієї групи.

Якщо формула набирається у редакторі формул шрифтом Times курсивом, то і по тексту символи необхідно набирати курсивом, тобто символи по тексту повинні відповідати символам у редакторі формул.

Якщо формула набирається шрифтом Arial не курсивом, то і по тексту символи повинні відповідати формулі.

Рисунки набираються по тексту, повинні бути згрупованими, розмір не повинен перевищувати 10x12 см.

Підписи та надписи у графічних об'єктах (рисунках, схемах та т. інш.) неможна робити за допомогою інструменту надпису панелі інструментів (Рисунання) у зв'язку з тим, що при збільшуванні чи зменшуванні графічних об'єктів текстові блоки викривлюються.

Для створення графічних об'єктів рекомендується використовувати графічні програми Paint, Corel Draw, AutoCad та інш.

ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

Середня кількість ілюстрацій за обсягом не повинна перевищувати 20 % авторського тексту, що при розмірі 10x12 см складе 7-8 рисунків на авторській лист.

Якщо рисунок у статті один, то він не нумерується, посилання на нього робиться словом «рисунок» без скорочення, а під самим рисунком слово «рисунок» не пишеться. Підпис з експлікацією без підпису (теми зображення) неприпустиме.

Підпис завжди починають з великої літери, експлікації – з малої. Крапки у кінці підпису не ставлять. Після основного підпису, якщо далі йде експлікація, прийнято ставити двокрапку. Елементи експлікації відділяють один від одного крапкою з комою, а цифрові або буквені позначення від тексту пояснення – знаком тире.

Таблиці. Ширина таблиці повинна відповідати ширині текстового блоку видання. Розмір шрифту для набору таблиці – 14 кегль. Допускається розмір шрифту – 12 кегль.

Таблиці повинні бути надруковані у тексті після абзаців, що мають посилання на них. Таблиця має нумераційний заголовок та тематичний заголовок, що визначає її тему та зміст (без розділового знака на кінці).

Якщо в тексті одна таблиця, нумераційний заголовок не пишеться. Тематичний заголовок не пишеться у таблиці допоміжного характеру, у такій, що немає самостійного значення.

Основні вимоги до тематичного заголовка – точність, відповідність призначенню, зміст таблиці, виразність та короткість.

Над таблицею, що продовжується, пишеться нумераційний заголовок «Продовження табл. __», якщо вона не закінчена, або «Закінчення табл. __», якщо закінчена.

Текст таблиці не повинен виходити за лінії, що обмежують графі. Числа у таблиці, що мають більше чотирьох цифр, повинні ділитися на класи по 3 цифри, інтервалом у один пробіл (виняток номери та дати).

Таблиці повинні бути закритими з боків та внизу. Графу «Номер з/п» давати тільки тоді, коли є посилання на цю нумерацію.

Заголовки граф ставлять у називному відмінку однини чи множини без довільного скорочення слів.

У одноярусній головці усі заголовки пишуться з великої літери.

У дво- і багаторярусній головці заголовки верхнього ярусу пишуться з великої літери, а заголовки наступних ярусів – з великої літери, якщо вони граматично не підпорядковуються заголовку верхнього ярусу, що стоїть над ними.

Примітки та виводки за змістом таблиці необхідно друкувати тільки під таблицею. *Виводки* позначаються *зірочкою*.

**ВИМОГИ
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ**

Література

Список літератури подається в порядку посилання. Неприпустиме посилання на неопубліковані та незавершені праці.

Матеріали і документи, які не повністю оформлені або не відповідають усім вимогам, не розглядаються.

УВАГА!

Матеріали, що подаються для опублікування, повинні бути актуальними, виключати паралелізм та дублювання.

Передрукування та будь-яке використання матеріалів здійснюється з обов'язковим посиланням на збірник.

Автори несуть повну відповідальність за науковий зміст, точність фактичних даних, посилань на джерело, а також ілюстративного матеріалу і цитат.

Редакція не завжди поділяє позицію авторів публікацій.

**ВИМОГИ
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ**

Приклади бібліографічного опису документа

Опис книги одного автора

Іванов О.К. Економічний аналіз: Учбовий посібник / О.К. Іванов.
– СПб.: Вид. СПбГТУ, 1998. – 88 с.

Опис книги двох авторів

Гаврикова Т.А. Дислокация в кристаллах: Учебн. пособие /
Т.А. Гаврикова, Б.А. Зыков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 72 с.

Опис книги трьох авторів

Сергеев К.Г. Физические методы контроля качества материалов и
продукции: Учебн. пособие / К.Г. Сергеев, Н.А. Столярова, И.И. Горш-
ков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 52 с.

Опис книги під редакцією

Пористые проницаемые материалы: Справ. / Под ред. С.В. Белова.
– М.: Металлургия, 1987. – 333 с.

Опис методичних вказівок

Управление проектами: Метод. указания / В.П. Капитанов. –
Одесса: Изд-во ОНМУ, 2005. – 37 с.

Опис складової частини видання

Ильф И.А. Источник веселья / И.А. Ильф, Е.П. Петров // Собр.
соч.: В 5 т. – М., 1961. – Т.5. С.94-97.

Опис статті зі збірника, книги

Кириллов В.Н., Демидюк А.В., Тонюк В.И. Экспериментальная
установка для исследования гидродинамических характеристик
продольной качки моделей судов // Вісник ОДМУ. – Одеса: Вид-во
ОДМУ. – 1998. – № 1. – С.90-93.

Опис статті з журналу

Вечорин Е.Л., Константин Петрович Боклевский / Е.Л. Вечорин //
Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 1999. – № 1(15). – С. 113.

Синтез перенасыщенных аналогов пенициллина / Е.Ф. Панарин,
М.В. Соколовский, М.Б. Беров, М.А. Жукова // Изв. АН СССР. Сер. хим.
– 1974. – № 10. – С. 2300-2303.

**ВИМОГИ
ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ**

Опис статті з газети

Немировский Е.Л. Первопечатник Иван Федоров / Е.Л. Немировский // Лит.газ. – 1984. – 5 мая. – С.16.

Опис стандартів

ГОСТ 7.1-84 СИБИД. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила оформления. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 76 с.

Опис патентних документів

А.с. 1254421 СССР, МКИ G 03 G 15/00. Электрографический микрофильмирующий аппарат / А.Г. Арутюнов (СССР). Опубл. 23.06.86. Бюл. № 32.

Опис авторефератів дисертацій

Касимовский Н.И. Разработка оксидного катализатора: Автореф. дис. ... канд. техн. наук // Н.И. Касимовский; ЛТИ им. Ленсовета. – Л., 1988. – 16 с.

Опис дисертації

Талишинский Р.Р. Документализм в публицистике: Дис. ... канд. филол. наук / Р.Р. Талишинский; Моск.гос.ун-т. – М., 1986. – 203 с.

Опис іноземних літературних джерел підпорядковується тим же правилам. Наприклад:

Wyner F. The wire-tap channel / A. Wyner// Bell Sistem Technical J. – 1975. – Vol. 54. – № 3. – P. 1355-1387.

Наукове видання

**ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Збірник наукових праць

Випуск 1 (47)

Засновник – Одеський національний морський університет

*Українською, російською
та англійською мовами*

Видається з червня 1997 р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 4242 від 26.12.2011 р.

Підписано до друку з оригінал-макету 27.01.2016.
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 12,5 .
Замовлення № 5.

Надруковано у Видавництві ОНМУ
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.
Тел. 728 31 14